



11  
30j.

Universidad Nacional Autónoma  
de México

Facultad de Estudios Superiores  
CUAUTITLÁN



**“Evaluación de Emisiones Contaminantes  
a la Atmósfera por Procesos de Combustión  
en una Industria Metal-Mecánica”**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N

ALBERTO CASTAÑEDA CERVANTES  
LUIS ANTONIO RESENDIZ HERNANDEZ

Asesor de Tesis Ing. Miguel Angel Bárcenas Sarabia

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México

1992



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

CAPITULO	TEMA	PAG.
	PROLOGO .....	1
	INTRODUCCION .....	2
<b>CAPITULO UNO</b>	<b>LA CONTAMINACION ATMOSFERICA</b>	<b>5</b>
1.1	LA CONTAMINACION DEL AIRE	
1.1.1	HISTORIA Y ANTECEDENTES. ....	6
1.1.2	SITUACION MUNDIAL. ....	7
1.1.3	ORIGEN DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA. ....	8
1.1.4	ASPECTOS DE LA SALUD HUMANA. ....	9
1.2	CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA CIUDAD DE MEXICO	
1.2.1	DATOS DE LA SITUACION ACTUAL. ....	10
1.2.2	FACTORES QUE ACENTUAN LA CONTAMINACION ATMOSFERICA. ....	14
1.2.3	SISTEMA DE MONITOREO EN LA CIUDAD DE MEXICO. ....	16
<b>CAPITULO DOS</b>	<b>REGLAMENTACION</b>	<b>20</b>
2.1	LEGISLACION SOBRE CONTAMINACION ATMOSFERICA	
2.1.1	REGLAMENTO PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA .....	21
2.1.2	REGLAMENTO PARA LA OBTENCION DE LICENCIAS DE ESTABLECIMIENTO DE INDUSTRIAS CONTAMINANTES. ....	27
2.1.3	NORMAS PUBLICADAS PARA LA PREVEN- CION Y CONTROL DE LA CONTAMINA-	

INDICE .

CAPITULO	TEMA	PAG.
	ACION ATMOSFERICA.....	29
2.1.4	LIMITES PERMISIBLES DE CONTAMI- NACION ATMOSFERICA. ....	32
<b>CAPITULO TRES</b>	<b>PROCESOS DE EMISION</b>	<b>37</b>
3.1	ELEMENTOS CONTAMINANTES DEL AIRE	
3.1.1	CONCEPTOS DE EMISION E INMISION. ....	38
3.1.2	CLASIFICACION DE CONTAMINANTES. ....	39
3.1.3	CONTAMINANTES GASEOSOS. ....	40
3.1.4	CONTAMINACION POR PARTICULAS. ....	44
3.2	FUENTES DE CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA	
3.2.1	CLASIFICACION .....	46
3.2.2	FUENTES FIJAS .....	47
3.2.3	FUENTES MOVILES .....	48
3.2.4	FUENTES NATURALES .....	48
3.3	PROCESOS GENERADORES DE EMISION	
3.3.1	CLASIFICACION .....	49
3.3.2	PROCESOS DE COMBUSTION GENERADORES DE ENERGIA .....	49
3.3.3	PROCESOS DE PRODUCCION DE BIENES MATERIALES .....	50
<b>CAPITULO CUATRO</b>	<b>FLUJO DE GASES EN DUCTOS</b>	<b>52</b>
4.1	PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS	
4.1.1	GENERALIDADES .....	53
4.1.2	PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE UN FLUIDO. ....	55

## INDICE

CAPITULO	TEMA	PAO.
	4.1.3 ECUACIONES DE ESTADO PARA GASES. ....	63
4.2	ECUACIONES DE BERNOULLI	
	4.2.1 ECUACION DE EULER. ....	65
	4.2.2 ECUACION DE BERNOULLI PARA UN FLUIDO IDEAL. ....	67
	4.2.3 ECUACION DE BERNOULLI PARA UN FLUIDO REAL. ....	71
	4.2.4 ECUACION DE BERNOULLI PARA UN GAS INCOMPRESIBLE. ....	73
4.3	MEDICION DE VELOCIDAD	
	4.3.1 MEDIDORES LOCALES DE VELOCIDAD. ....	75
	4.3.2 TUBO PITOT. ....	76
	4.3.3 MEDICION DE PRESION ESTATICA, TOTAL Y DINAMICA EN LOS DUCTOS. ....	77
	4.3.4 OBTENCION DE VELOCIDAD DE GASES EN DUCTOS. ....	81
<b>CAPITULO CINCO</b>		
	<b>DETERMINACION DE LA CON- CENTRACION DE PARTICULAS (MUESTREO ISOCINETICO)</b>	<b>85</b>
5.1	PLANEACION DEL MUESTREO	
	5.1.1 ESTUDIO DEL PROCESO Y DEL EQUIPO GENERADOR DE EMISIONES ....	86
	5.1.2 PRUEBAS PRELIMINARES DE CARBURACION ..	88
	5.1.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD ....	92
5.2	PUERTOS DE MUESTREO	
	5.2.1 CARACTERISTICAS DE LOS PUERTOS DE	

INDICE

CAPITULO	TEMA	PAG.
	MUESTREO .....	94
5.2.2	DETERMINACION DEL NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE PRUEBA Y SU DISTRIBUCION. . .	95
5.3	MUESTREO ISOCINETICO	
5.3.1	PRINCIPIO DE ISOCINETICIDAD .....	99
5.3.2	DETERMINACION DEL PERFIL DE VELOCIDAD EN EL DUCTO. ....	100
5.3.3	TRENES DE MUESTREO .....	102
5.3.4	CAPTACION DE PARTICULAS POR MEDIO FILTRANTE .....	104
5.3.5	MONTAJE DEL TREN DE MUESTREO .....	110
5.3.6	TOMA DE MUESTRA .....	106
CAPITULO SEIS	DETERMINACION DE LA CONCEN- TRACION Y EMISION DE GASES	107
6.1	COMBUSTIBLES Y PROCESO IDEAL DE LA COMBUSTION	
6.1.1	ASPECTOS BASICOS .....	109
6.1.2	COMPONENTES DE LA COMBUSTION .....	111
6.1.3	COMBUSTIBLES .....	112
6.1.4	REACCION TEORICA O ESTEQUIOMETRICA ...	117
6.1.5	AIRE TEORICO .....	118
6.1.6	RELACION AIRE COMBUSTIBLE .....	120
6.2	PROCESOS REALES DE COMBUSTION	
6.2.1	COMBUSTION REAL .....	122
6.2.2	EVALUACION DE LOS PROCESOS REALES DE COMBUSTION .....	124
6.2.3	RENDIMIENTO DE LA COMBUSTION EN UN	

## INDICE

CAPITULO	TEMA	PAG.
	GENERADOR DE VAPOR .....	125
<b>6.3</b>	<b>ANALISIS DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTION</b>	
6.3.1	IMPORTANCIA .....	128
6.3.2	INSTRUMENTOS QUE MIDEN LA CALIDAD DE LOS GASES DE CHIMENEA .....	128
6.3.3	TOMA DE MUESTRA DE GASES .....	130
6.3.4	COMPOSICION Y OPERACION DEL APARATO DE ORSAT .....	131
<b>CAPITULO SIETE</b>	<b>CASO PRACTICO 1</b>	<b>141</b>
<b>7.1</b>	<b>ESTUDIO DEL PROCESO .....</b>	<b>142</b>
<b>7.2</b>	<b>DESARROLLO</b>	
7.2.1	CONDICIONES DE MUESTREO (DATOS DE CAMPO) .....	143
7.2.2	CALCULO DE LA FRACCION DE HUMEDAD ....	143
7.2.3	CHEQUEO DEL PESO MOLECULAR .....	144
7.2.4	DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE LOS GASES .....	145
7.2.5	CALCULO DEL GASTO VOLUMETRICO EN LA CHIMENEA .....	146
7.2.6	DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE ISOCINETICIDAD .....	147
7.2.7	CALCULO DEL GASTO DEL MEDIDOR DE LA PRUEBA PRELIMINAR .....	147
7.2.8	RESUMEN DE LOS DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR .....	149
7.2.9	CALCULO DEL GASTO DEL MEDIDOR	

INDICE

CAPITULO	TEMA	PAG.
	DE LA PRUEBA DEFINITIVA .....	149
7.2.10	RESUMEN DE LOS DATOS DE LA PRUEBA DEFINITIVA .....	152
7.2.11	CALCULO DE LA CONCENTRACION DEL POLVO RETENIDO .....	152
7.2.12	CALCULO DE LA EMISION POR CHIMENEA .....	152
7.2.13	CALCULO DE LA CONCENTRACION EQUIVALENTE DE PARTICULAS .....	153
7.2.14	CALCULO DE LA CONCENTRACION EQUIVALENTE PARA CADA GAS .....	153
7.2.15	COMPARACION DE LOS RESULTADOS CONTRA LA NORMA (NTE-CCAT-008) PARA GAS NATURAL.....	154
<b>CAPITULO OCHO</b>	<b>CASO PRACTICO 2</b>	<b>155</b>
<b>8.1</b>	<b>ESTUDIO DEL PROCESO.....</b>	<b>156</b>
<b>8.2</b>	<b>DESARROLLO</b>	
8.2.1	CONDICIONES DE MUESTREO (DATOS DE CAMPO) .....	157
8.2.2	CALCULO DE LA FRACCION DE HUMEDAD ....	157
8.2.3	CHEQUEO DEL PESO MOLECULAR .....	158
8.2.4	DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE LOS GASES .....	159
8.2.5	CALCULO DEL GASTO VOLUMETRICO EN LA CHIMENEA .....	160
8.2.6	DETERMINACION DE LAS CONDICIONES	



INDICE

CAPITULO	TEMA	PAG.
	DE ISOCINETICIDAD .....	161
8.2.7	CALCULO DEL GASTO DEL MEDIDOR DE LA PRUEBA PRELIMINAR .....	161
8.2.8	RESUMEN DE LOS DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR .....	163
8.2.9	CALCULO DEL GASTO DEL MEDIDOR DE LA PRUEBA DEFINITIVA .....	163
8.2.10	RESUMEN DE LOS DATOS DE LA PRUEBA DEFINITIVA .....	166
8.2.11	CALCULO DE LA CONCENTRACION DEL POLVO RETENIDO .....	168
8.2.12	CALCULO DE LA EMISION POR CHIMENEA .....	166
8.2.13	CALCULO DE LA CONCENTRACION EQUIVALENTE DE PARTICULAS .....	167
8.2.14	CALCULO DE LA CONCENTRACION EQUIVALENTE PARA CADA GAS .....	167
8.2.15	COMPARACION DE LOS RESULTADOS CONTRA LA NORMA (NTE-CCAT-005) PARA DIESEL. ....	168
CAPITULO NUEVE	PROGRAMA DE COMPUTO	169
	LISTADO PROGRAMA A.....	170
	LISTADO PROGRAMA B.....	173
	CORRIDA PROGRAMA A.....	181
	CORRIDA PROGRAMA B.....	183

## INDICE

CAPITULO	TEMA	PAG.
	CONCLUSIONES	189
	BIBLIOGRAFIA	193

## PROLOGO

Es arduo el camino del conocimiento, de la enseñanza y del aprendizaje. Es difícil la investigación y pedregoso el camino de la superación. Pero más que todo, es la satisfacción de haber logrado algo que impulsa a seguir adelante. Nunca se termina el sendero, pero siempre, a cada paso, el punto de inicio se ve cada vez más lejos, la meta cada vez más grande y satisfactoria. A través del aprendizaje llega el deseo de enseñanza y docencia. A causa de la ignorancia se presenta la necesidad del aprendizaje. El por la vida, las experiencias, los descabros, y los éxitos infunden el deseo de superación y de lograr las metas inmediatas, objetivos imprescindibles de la existencia.

Recibid mi enseñanza,  
mejor que la plata, y la  
ciencia, mejor que el oro  
fino; pues la sabiduría vale  
más que las perlas.

(PROV. 8,10-11a)

## **INTRODUCCION**

## INTRODUCCION

Las emisiones contaminantes que se expulsan diariamente a la atmósfera han provocado la situación actual del deterioro de la calidad del aire. Por lo anterior, es de suma importancia tener conocimiento pleno sobre los orígenes, características y consecuencias que ello provoca.

Parte importante de este conocimiento es el muestreo para la evaluación de las emisiones y concentraciones de gases y partículas en procesos de combustión; los cuales generan el 80% de la contaminación atmosférica. Un considerable porcentaje de los procesos de combustión se realizan en fuentes fijas por los diferentes tipos de industrias.

Para tener una idea más clara de la magnitud de la contaminación atmosférica, en la primera parte de este trabajo se exponen aspectos generales, que nos llevan a conocer las dimensiones reales del problema. La reglamentación juega un papel muy importante en el mejoramiento del ambiente, no solo en la parte de ejecución de normas y leyes, sino que además, se debe considerar una constante revisión de las mismas con la finalidad de actualizar los reglamentos, acorde con la situación que prevalezca en las nuevas tecnologías ambientales de la era actual.

Los procesos de emisión debido a su diversidad son clasificados en diferentes grupos de acuerdo a sus características generales. En los procesos de combustión la evaluación contiene dos partes fundamentales:

a) Evaluación de emisión de partículas

b) Evaluación de emisión de gases

La primera parte se rige por el principio de isocineticidad; y para realizar la evaluación bajo este principio se requieren conocimientos sobre gases en ductos, equipos especiales y una metodología bien definida.

Por otro lado la evaluación de emisión de gases resulta en operación, mucho más sencilla que la anterior, ya que en esta área existen en el mercado una gran diversidad de equipos electrónicos computarizados, los cuales con una sola toma de muestra nos dicen la composición de los gases de dicha emisión.

Durante el desarrollo del presente trabajo se llevarán a cabo muestreos de partículas y gases en industrias metal-mecánicas, los cuales serán descritos paso a paso para una mejor comprensión de la metodología; de tal manera que con los datos obtenidos de las evaluaciones, el desarrollo de toda la información y un análisis de los resultados; tendremos parámetros para determinar, en primer término, el cumplimiento con la legislación existente, es decir, una baja emisión de contaminantes; o en caso contrario estaremos en condiciones para determinar las posibles fallas ya sea en el equipo que genera las emisiones en su operación, o en el combustible utilizado. Por otro lado, el presente trabajo cuenta con el diseño de un programa de computo que permite realizar después de las evaluaciones de campo, la incorporación integral y el desarrollo de toda la información.

**CAPITULO UNO**

**LA CONTAMINACION ATMOSFERICA**

## 1.1 LA CONTAMINACION DEL AIRE

### 1.1.1 HISTORIA Y ANTECEDENTES

El aire es indispensable para la vida sobre la tierra. La adición de materia indeseable transportada por el aire, como el humo, cambia la composición de la atmósfera de la Tierra perjudicando posiblemente la vida y alterando materiales. Se designa a este fenómeno atmosférico como contaminación del aire.

A lo largo de la historia, para satisfacer sus necesidades vitales, el hombre ha utilizado durante toda su existencia los medios que le ha proporcionado su entorno natural. Ha ido desarrollando distintas técnicas para su alimentación, para vestirse y alojarse, que ha incidido cada vez con mayor intensidad sobre el medio ambiente.

Los primeros pobladores se dedicaron a la recolecta de frutos y, más tarde, a la caza, viviendo en total armonía con la naturaleza. Como los demás animales, formaban parte de los ecosistemas terrestres de los que constituían un elemento más.

Con la aparición del cultivo durante el período neolítico, el hombre fue protagonista del primer gran cambio revolucionario. Taló árboles y quemó bosques a fin de ampliar la superficie de la tierra utilizable para el desarrollo de sus actividades; domesticó a los animales y se organizó socialmente. Como consecuencia de ello formó



los poblados. El cambio fue tan importante que muchos historiadores lo apellidaron la revolución del neolítico, a pesar de que la transformación no se produjera de manera inmediata como durante la industrialización.

En el siglo XVIII tiene lugar uno de los acontecimientos más importantes de la historia: la Revolución Industrial. En este período la civilización agrícola cede su lugar al maquinismo, y con éste se logran las grandes concentraciones urbanas. Las instalaciones fabriles atrajeron a la población rural a las ciudades. Como consecuencia, los servicios públicos se hicieron insuficientes y dieron paso al surgimiento de los grandes hacinamientos en condiciones insalubres.

En México la Revolución Industrial se inició a mediados del siglo pasado, con las mismas consecuencias que produjo en Europa. Los estragos provocados en la naturaleza por la industrialización se agravaron con el paso del tiempo hasta nuestros días, en que es de vital importancia detener el deterioro del ambiente.

### 1.1.2 SITUACION MUNDIAL.

A mediados del siglo XIX la vida mejoró, debido a los progresos en la agricultura, la industria, los transportes y la medicina del mundo occidental; sin embargo, en

esas ciudades, siempre sucias y llenas de humos, predominaba la miseria. A partir de 1830, se desataron infecciones, epidemias de cólera y tifus; y una gran mortandad debida a la contaminación del aire y de las aguas.

A pesar de todo lo anterior, las ciudades continuaron creciendo, y se han registrado muchos casos en los que el aumento de la contaminación del aire ha provocado consecuencias graves en la salud de la población.

El deterioro del medio físico es evidente en casi todo el mundo; la disminución de la visibilidad, el aumento de enfermedades y los accidentes provocados por los contaminantes del aire se presentan cada vez con más frecuencia. Y lo peor de todo es que la solución al problema no es fácil, ya que las variables incluidas son no sólo de carácter físico o químico sino también social y económico.

### 1.1.3 ORIGEN DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

#### CAUSAS

Las causas que originan la contaminación son varias, pero el mayor índice de contaminación es provocado por las diversas actividades del hombre, que se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Industriales. (Fábricas, refinerías, cementeras, automotriz, química, etc.)
- Comerciales. (Baños públicos, tortillerías, tintorerías, panificadoras, etc).
- Transporte. (Camiones y automóviles de combustión interna, aviones, barcos, etc)

#### 1.1.4 ASPECTOS DE SALUD HUMANA

Las principales enfermedades ocasionadas por la contaminación del aire son enfermedades de las vías respiratorias como bronquitis y efisema. Los contaminantes del aire pueden ser partículas en suspensión o gases; las partículas inhaladas quedarán atrapadas en diversas áreas del aparato respiratorio, dependiendo de su tamaño. Aquellas que midan más de 2 mm de diámetro no llegarán más allá de las fosas nasales o de los bronquios. Si el diámetro es menor de 2mm., la partícula se irá por las vías respiratorias a los alveolos donde podrá ser atrapada por las células especializadas que los revisten, o bien será conducida hacia la circulación sanguínea.

El factor determinante en el caso de los gases es en gran medida su solubilidad en agua; ya que los tejidos son ricos en agua, y un contaminante gaseoso como el SO<sub>2</sub> (bióxido de azufre) se disolverá rápidamente en los tejidos blandos de la boca, garganta, bronquios y ojos;

produciendo síntomas de sequedad, irritaciones y escozor en los ojos.

Los daños provocados por la contaminación del aire han causado grandes tragedias durante las últimas décadas. Como ejemplos, vale mencionar los casos de Donora, Pennsylvania, en 1948; donde las personas más intensamente afectadas fueron las de mayor edad y las que habían padecido enfermedades del corazón o de los pulmones; y el caso de Londres, en 1952, donde la población sufrió bajo los efectos del smog durante cuatro días y se registraron 4000 a 5000 defunciones en las dos o tres semanas siguientes.

## 1.2 CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA CIUDAD DE MEXICO

### 1.2.1 SITUACION ACTUAL

La superficie del valle de México abarca 9 600 kilómetros cuadrados, de los cuales el área urbana ocupa 1400km<sup>2</sup>. En esta área viven más de 18 millones de habitantes y circulan unos dos millones de vehículos automotores diariamente. Aquí se concentran también fábricas, oficinas públicas, centros de estudio y comercios. Según datos de la Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología, la producción industrial de la zona

metropolitana representa el 50 por ciento del total de la producción nacional. Estos factores han hecho de la capital del país un centro de atracción para los habitantes del territorio nacional, especialmente de las zonas rurales y, por tanto, una de las ciudades con mayor crecimiento demográfico en el mundo.

Dotar de servicios públicos a una ciudad de tales proporciones es, sin duda, un problema que debe resolverse lo antes posible. Cuando los servicios públicos de una población son insuficientes para evacuar los desechos urbanos, se crean condiciones insalubres, que afectan la salud de sus habitantes. En efecto, la contaminación es la degradación del ambiente producida por los desechos humanos.

Actualmente el Distrito Federal tiene grandes problemas de contaminación ambiental, cuya solución requiere de considerables esfuerzos por parte de las autoridades y de los habitantes. Hasta ahora las principales formas de contaminación que padece el Valle de México son la atmosférica, la del agua, el ruido y la acumulación de desperdicios.

Contaminación atmosférica. La metrópoli se encuentra ubicada a 2280 metros sobre el nivel del mar, lo que provoca que la combustión se realice en forma ineficaz. Esto, aunado a las características del Valle de México, que favorecen la presencia de los fenómenos de inversión

atmosférica, determina la mala calidad de aire que se respira en esta ciudad.

El fenómeno conocido como inversión atmosférica ocurre cuando la temperatura del aire aumenta con la altura: dicho de otra manera, cuando el aire caliente se sitúa encima del aire frío. En estas circunstancias el aire se vuelve muy estable y se eliminan casi por completo las corrientes, debido a que el aire frío es muy denso. En consecuencia, los humos contaminantes permanecen en la atmósfera durante mucho tiempo.

El smog -también conocido como humoniebla o neblumo- se forma en la atmósfera por reacciones fotoquímicas entre los gases que la forman, las impurezas del ambiente y la acción de la luz solar. La composición de la humoniebla varía de acuerdo con el lugar y época del año en que se forma, debido a que los contaminantes que se incorporan al aire varían en composición y cantidad en diferentes condiciones climáticas.

En el Distrito Federal la composición del smog varía en cada región. En el centro de la ciudad, por ejemplo, los principales contaminantes son el dióxido y monóxido de carbono, el dióxido de azufre y el de nitrógeno, por la gran concentración de vehículos. En el norte y en la zona fabril de Iztapalapa los principales contaminantes son humos y partículas industriales. En la zona sur se concentran principalmente los precursores del ozono y el dióxido de azufre.

Los contaminantes de la atmósfera provienen de fuentes conocidas como emisoras. Estas pueden ser estacionarias o vehiculares. Las primeras, a su vez, pueden ser naturales -tolvaneras e incendios forestales- o artificiales -principalmente industrias-. Las emisoras vehiculares comprenden camiones, automóviles, trenes y aviones.

Con base en un estudio del aire realizado en 1976 en el Distrito Federal, las autoridades diseñaron un programa para controlar los principales contaminantes de la atmósfera, que entró en funcionamiento a fines de 1979.

Con el objeto de reducir la contaminación proveniente de fuentes naturales, se llevan a cabo campañas para la prevención de incendios forestales en los alrededores del Valle de México, y se estudian las zonas de Texcoco, el Ajusco y el corredor de Tula -Coyotepec- para elaborar programas de reforestación, tendientes a disminuir polvos y humos contaminantes.

Para reducir la contaminación provocada por fuentes artificiales se han tomado medidas para revisar anualmente vehículos automotores, particulares y públicos, y controlar así la emanación de gases tóxicos producidos por motores en mal estado. Además, el Departamento del Distrito Federal promueve el uso de gas L.P. como combustible en sus vehículos, para purificar el ambiente. Actualmente funcionan 900 patrullas de la Secretaría General de Protección y Vialidad con gas, y se estudia la posibilidad

de extender su uso en taxis y vehículos de carga.

El control de la contaminación industrial es más complejo. La Industria pesada requiere de la aplicación de conocimientos específicos para que no contamine en gran medida. La industria pequeña y mediana también es difícil de controlar, pues se encuentra distribuida en una extensa zona geográfica. Como una medida para preservar el ambiente de la ciudad, se acordó prohibir el establecimiento de industrias en la zona metropolitana desde 1980. Las que se encuentran ubicadas aquí están siendo reubicadas paulatinamente.

#### 1.2.2 FACTORES QUE ACENTUAN LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

Las condiciones meteorológicas prevalecientes en la Ciudad de México ejercen una influencia preponderante sobre la calidad del aire durante todo el año, más desfavorable durante el invierno.

La contaminación del aire provocada por la emisión de polvos, vapores, gases y otros, de origen natural y antropogénico, se agrava en el invierno por la mayor frecuencia de calmas y vientos de baja velocidad, aunada a la presencia de aire frío y seco casi estacionario a altura considerable, así como por la alta frecuencia de inversiones térmicas intensas y prolongadas.



### Presencia de calmas

Este fenómeno invernal se presenta cuando el aire cerca del suelo se encuentra comprimido por una masa de aire frío y seco por encima de él.

Bajo esas condiciones, los vientos registran velocidades inferiores a 2 metros por segundo, insuficientes para transportar los contaminantes fuera del Valle de México.

### Inversiones térmicas

Las inversiones térmicas en la zona metropolitana de la Ciudad de México se forman durante la noche por enfriamiento de la superficie de la tierra, en ausencia de nubosidad y humedad en la atmósfera. Debido a que el aire cerca del suelo está más frío y por ende más pesado se dificulta su ascenso.

Cuando se calienta la superficie de la tierra por la acción del sol, la capa de aire empieza a ascender y los contaminantes suben hacia las capas superiores diluyéndose por turbulencia.

En invierno, las inversiones térmicas tardan más en desaparecer por que la intensidad de la insolación es menor que en otras épocas del año.

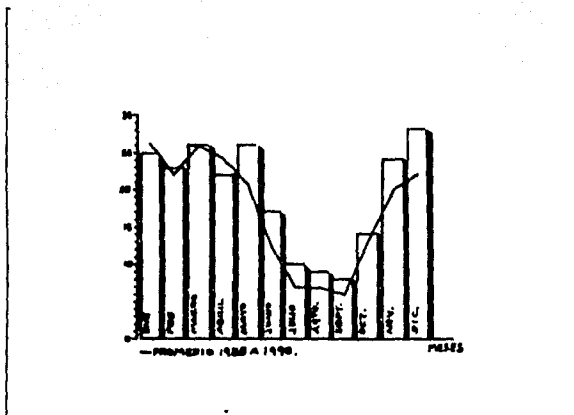


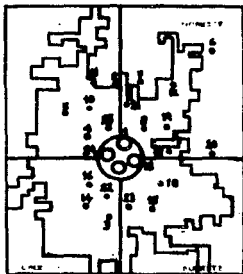
Fig. (4.3) NUMERO DE DIAS POR MES CON INVERSION TERMICA EN 1990.

### 1.2.3 SISTEMA DE MONITOREO EN LA CIUDAD DE MEXICO

El perfeccionamiento de la red de monitoreo atmosférico que actualmente opera la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, ha permitido que la ciudad cuente con un sistemas de vigilancia de la calidad del aire de alta eficiencia durante las 24 horas del día, que presenta datos confiables para la investigación y la toma

de desiciones.

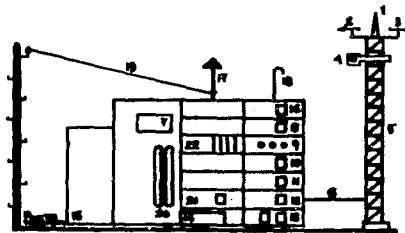
Se cuenta con una red automática de 25 estaciones de monitoreo, una red manual con 16 estaciones de apoyo a la anterior, que registran la presencia de contaminantes que requieren ser analizados en el laboratorio; dos radares acústicos que indican la altura a la que se encuentra la capa de mezclado de contaminantes y por último, una red de meteorología urbana, también con 16 estaciones, que registran humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento.



- 1 LAOUNILLA
- 2 VALLEJO
- 3 PEDREGAL DE STA. URSULA
- 4 TACUBA
- 5 ENEP ACATLAN
- 6 STA. MARIA TULPETLAC
- 7 LA PRESA
- 8 LA V. BOMBEROS
- 9 SAN AGUSTIN
- 10 AZCAPOTZALCO
- 11 TLALNEPANTLA
- 12 SAN P. XALOSTOC
- 13 MERCED
- 14 PEDREGAL
- 15 CERRO DE LA ESTRELLA
- 16 PLATEROS
- 17 HANGARES
- 18 UAM IZTAFALAPA
- 19 ARAGON
- 20 NEZAHUALCOYOTL
- 21 I. M. P.
- 22 BENITO JUAREZ
- 23 TANQUEÑA
- 24 MTO. INSURGENTES
- 25 CUITLAHUAC

Fig. (1.2) RED AUTOMATICA DE MONITOREO ATMOSFERICO.

Los mencionados instrumentos operan de manera optima y tienen alta precisión, buen mantenimiento y supervisión continua, realizada por técnicos altamente capacitados en varios centros científicos del mundo. Los datos notificados son consistentes en lo general con los de instituciones académicas.



- |                        |                                  |                      |
|------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 1 PARARRAYO            | 9 MICROPROCESADOR                | 18 TOMA DE MUESTRA   |
| 2 VELETA               | TRANSMISOR DE DATOS              | DE PARTICULAS        |
| 3 ANEMOMETRO           | 10 ANALIZADOR DE CO              | 19 CANAL DE TRANSMI- |
| 4 SENSOR DE HUMEDAD    | 11 ANALIZADOR DE O <sub>3</sub>  | CIÓN (LINEA TELE-    |
| Y TEMPERATURA          | 12 ANALIZADOR DE SO <sub>2</sub> | FONICA)              |
| 5 TORRE METEOROLOGICA  | 13 CALIBRADOR                    | 20 GASES DE CALIBRA- |
| 6 CABLE DE INFORMACION | 14 REGULADOR DE VOLTAJE          | CIÓN.                |
| METEOROLOGICA.         | 15 PUERTA DE SEGURIDAD           | 21 ANALIZADOR DE     |
| 7 AIRE ACONDICIONADO   | 16 MONITOR DE PARTICULAS         | NO <sub>2</sub> -NO. |
| 8 GRAFICADOR           | 17 TOMA DE MUESTRA DE            | 22 CONTROL DE PARA-  |
|                        | GASES                            | METROS METEORO-      |
|                        |                                  | LOGICOS              |

fig. (1.3) DIAGRAMA DE UNA ESTACION AUTOMATICA DE MONITOREO ATMOSFERICO.

Contar con una red automática de monitoreo instantáneo, medición en tiempo real, minuto a minuto, un centro de control de su operación y una política de permanente comunicación, permite apoyar programas de salud, mantener informada a la sociedad sobre el comportamiento de la calidad del aire en la ciudad y hace posible que las decisiones para combatir la contaminación sean oportunas y tengan la mayor precisión posible.

## **CAPITULO DOS**

## **REGLAMENTACION**

## 2.1 LEGISLACION SOBRE CONTAMINACION ATMOSFERICA

### 2.1.1 REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION A LA ATMOSFERICA

Las razones por las que hay que controlar las emisiones se pueden resumir como las siguientes:

- A) Cumplir con la Legislación existente.
- B) Recuperar material valioso ó limpiar el aire para utilizarlo como insumo ó como condición del proceso.
- C) Mantener buenas relaciones con la comunidad circundante y con el personal que labora.

-- Para la elaboración de la Reglamentación existente se realizó un proceso Legislativo; que dió origen a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. La cual en su capítulo uno "Protección y Control de la Contaminación de la Atmósfera" establece lo siguiente:

ARTICULO 110.-Para la protección a la atmósfera se considerarán los siguientes criterios:

I.-La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones en el país, y

II.-Las emisiones de contaminantes a la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas para asegurar una calidad de aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

ARTICULO 111.-Para controlar, reducir o evitar la contaminación a la atmósfera, la Secretaría:

I.-Expedirá, en coordinación con la Secretaría de Salud en lo referente a la salud humana, las normas técnicas ecológicas correspondientes, especificando los niveles permisibles de emisión e inmisión por contaminante o por fuente de contaminación de acuerdo con el reglamento respectivo;

II.-Convendrá, y en su caso, podrá requerir la instalación de equipos de control de emisiones con quienes realicen actividades contaminantes en zonas conurbadas ubicadas en dos o mas entidades federativas, y cuando se trate de bienes o zonas de jurisdicción federal;

III.-Se expedirá las normas técnicas ecológicas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitores de la calidad del aire;

IV.-Expedirá las normas técnicas ecológicas para la certificación por la autoridad competente de niveles de emisión de contaminantes provenientes de fuentes determinadas;

V.-Expedirá, en coordinación con el sector energético y la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, las normas técnicas ecológicas que deberán ser observadas por la industria automotriz para reducir las emisiones de origen vehicular, considerando los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el



ambiente;

VI.-Promoverá, en coordinación con las autoridades correspondientes, el establecimiento de sistemas de verificación del parque vehicular, y

VII.-Ejercerá las demás facultades que le confieren las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.

ARTICULO 112.-En materia de contaminación atmosférica, los gobiernos de los estados y de los municipios en los ámbitos de sus respectivas jurisdicciones:

I.-Llevarán a cabo las acciones de prevención y el control de la contaminación del aire en bienes y zonas de jurisdicción estatal;

II.-Aplicarán los criterios generales para la protección a la atmósfera en las declaratorias de usos, destinos, reservas y provisiones, definiendo las zonas en que sea permitida la instalación de industrias contaminantes;

III.-Convendrán con quienes realicen actividades contaminantes y, en su caso le requerirán la instalación de equipos de control de emisiones cuando se trate de actividades de jurisdicción local y promoverán ante la Secretaría dicha instalación, en los casos de jurisdicción federal;

IV.-Integrarán y mantendrán actualizado el inventario de fuentes fijas de contaminación, y evaluarán el impacto ambiental en los casos de jurisdicción local;

V.-Establecerán y operarán sistemas de verificación de emisiones de vehículos en circulación;

VI.-Establecerán requisitos y procedimientos para regular las emisiones de transporte público, excepto el federal, y las medidas de tránsito y, en su caso, la suspensión de circulación en casos graves de contaminación;

VII.-Tomarán las medidas preventivas necesarias para evitar contingencias ambientales por contaminación atmosférica;

VIII.-Elaborarán los informes sobre el estado del medio ambiente en la entidad o municipio correspondiente, que convengan con la Secretaría a través de los acuerdos de coordinación;

IX.-Impondrán sanciones y medidas por infracciones a la Ley que al efecto expidan las legislaturas locales;

X.-Ejercerán las demás facultades que les confieren las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.

ARTICULO 113.-No podrán emitirse contaminantes a la atmósfera, que ocasionen o puedan ocasionar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente. En todas las emisiones a la atmósfera deberán ser observadas las previsiones de esta Ley y de las disposiciones reglamentarias que de ella emanen, así como las Normas Técnicas Ecológicas expedidas por la Secretaría. Cuando dichas emisiones contengan materiales o residuos peligrosos, se requerirá para su

emisión previa autorización de la Secretaría.

ARTICULO 114.-Las autoridades competentes promoverán, en las zonas que se hubieren determinado como aptas para uso industrial, proximas a Áreas habitacionales, la instalación de industrias que utilicen tecnologías y combustibles que generen menor contaminación.

ARTICULO 115.-La Secretaría promoverá que en la derterminación de usos del suelo que definan los programas de desarrollo urbano respectivos, se consideren las condiciones topográficas, climatológicas y metereológicas, para asegurar la adecuada dispersión de contaminantes.

ARTICULO 116.-Para el otorgamiento de estímulos fiscales, las autoridades competentes considerarán a quienes:

I.-Adquieran, instalen u operen equipo para el control de emisión de contaminantes a la atmósfera;

II.-Fabriquen, instalen o proporcionen mantenimiento a equipo de filtrado, combustión, control y, en general, de tratamiento de emisiones que contaminen a la atmósfera;

III.-Realicen investigaciones de tecnología cuya aplicación disminuya la generación de emisiones contaminantes, y

IV.-Ubique o realocalicen sus instalaciones para evitar emisiones contaminantes en zonas urbanas.

-- En relación con la recuperación del material valioso en las emisiones, este puede servir para:

1) Obtener ganancias a través de un producto comercializable y;

2) Reducir los costos del control de las emisiones.

Algunos ejemplos de material valioso al ser recuperados son: harinas de molinos, material abrasivo de proceso de acabado metálico; menas de quebrado y molienda en minas; cemento de hornos de calcinación; azúcar de secadores y enfriadores; negro de humo que sirve como insumo de procesos; bombos de la industria del chicle; substancias químicas pulverizadas y otros, en el caso de las calderas, existen procesos de punta en donde los gases pueden convertirse en sólidos y posteriormenete recuperarse como nitratos y sulfatos, los cuales pueden utilizarse como materia prima de plantas de fertilizantes.

-- Con respecto a las relaciones con la comunidad y los trabajadores, el objetivo del control es eliminar molestias a la población o evitar reducir su calidad de vida por ensuciamiento de materiales, reducción de la visibilidad, deterioro del paisaje, o daños a la salud.

En el interior de la planta, el mantener las areas limpias contribuye a:

1) Mantenimiento del equipo y maquinaria.

2) Reducción de accidentes y ausentismo.

3) Creación de un ambiente de trabajo adecuado.

## 2.1.2 REGLAMENTO PARA LA OBTENCION DE LICENCIAS DE ESTABLECIMIENTO DE INDUSTRIAS CONTAMINANTES.

El reglamento busca regular la emisión controlando las fuentes; así, señala que para establecer nuevas industrias cuyas actividades pueden producir contaminación atmosférica por humos y polvos, o para ampliar las existentes, se requiere licencia de la Secretaría de Salud la que se otorgará si los solicitantes comprueban que se ajustan a las normas de prevención y control de la contaminación atmosférica, así como a las demás disposiciones sanitarias.

Con objeto de facilitar a los industriales el cumplimiento de lo dispuesto en los artículos del reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de la Atmosférica Originada por la Emisión de Humos y Polvos, la Secretaría de Salud expidió un acuerdo que señala el trámite de la licencia para establecer nuevas industrias o ampliar las ya existentes.

Esta licencia, que otorga la Secretaría de Salud, previa coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, debe solicitarse con anterioridad al establecimiento o ampliación de cualquier industria cuya actividad pueda producir contaminación atmosférica por

emisión de humos y polvos, teniendo como fin tal disposición, lograr que al iniciar el funcionamiento, las industrias ya cuenten con los sistemas y equipos necesarios para prevenirla y controlarla.

En las industrias establecidas se evalúan las emisiones de humo por su obscuridad y opacidad, para las de polvos se establecen niveles máximos, según el peso del proceso o el volumen de gases en la fuente. Y en otros casos, por la capacidad de millones de kilocalorías por hora. Así mismo se prevé el control de hornos de cubilote, la combustión a cielo abierto, la emisión de los equipos accionados por motores de combustión interna, ciclos Otto y Diesel.

Se establecen las condiciones para que sigan operando las fuentes en caso de falla del equipo de control y se regula la emisión de polvos fugitivos de toda operación, proceso o actividad industrial.

A fin de instrumentar el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de la Atmosférica Originada por la Emisión de Humos y Polvos, se expidió el instructivo que describe las características, uso e interpretación de la carta de Humo de Ringelmann, que sirve para evaluar las emisiones de humos así como el principio de opacidad que hace posible su utilización para apreciar otros colores de

humo.

### 2.1.3 NORMAS PUBLICADAS PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La Secretaría de Comercio y Fomento Industrial publicó la Norma Oficial DGN-AA-01-1972 del Método de prueba para determinar la densidad aparente visual del humo empleando la Carta de Ringelmann, para fuentes estacionarias. La correspondiente al método de prueba de laboratorio para determinar el índice de opacidad del humo emitido por el escape de los motores Diesel, DGN-AA-02-1977.

La Norma Oficial Mexicana, Determinación del Flujo de Gases en un conducto por medio del tubo de Pitot DGN-AA-09-1973; la Norma Oficial Mexicana que determina la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto, DGN-AA-10-1974, la cual por resolución de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, de fecha 24 de junio de 1974, fue declarada obligatoria.

Y la Norma Oficial Mexicana, Evaluación de las emisiones de gases por el escape provenientes de vehículos automotores nuevos que usan gasolina como combustible, DGN-AA-11-1980.

RELACION DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS  
PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN  
ATMOSFÉRICA

NOM-AA-01-1972	Método de prueba para determinar la densidad visual del humo empleando la carta de Ringelmann para fuentes estacionarias.
NOM-AA-02-1977	Evaluación de las emisiones de humo provenientes de motores estacionarios que usan combustible diesel.
NOM-AA-09-1973	Determinación de flujo de gases en un conducto por medio del tubo pitot.
NOM-AA-10-1974	Determinación de la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.
NOM-AA-11-1980	Contaminación atmosférica-vehículos automotores nuevos a gasolina-evaluación de emisión de gases de escape.
NOM-AA-13-1976	Evaluación de la opacidad de humo proveniente de vehículos automotores equipados con motor diesel.
NOM-AA-23-1986	Protección al ambiente-contaminación atmosférica-terminología.
NOM-AA-27-1976	Determinación de las emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono



- provenientes del escape de vehiculos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
- NOM-AA-35-1976 Determinación del monóxido de carbono, bióxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión.
- NOM-AA-49-1977 Purificadores de aire electrostáticos.
- NOM-AA-54-1978 Contaminación atmosférica-determinación de contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto (método gravimétrico).
- NOM-AA-55-1976 Contaminación atmosférica-fuentes fijas-contaminación de bióxido de azufre en gases que fluyen por un ducto.
- NOM-AA-56-1980 Contaminación atmosférica-fuentes fijas-determinación del bióxido de azufre, trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico en los gases que fluyen por un conducto.
- NOM-AA-69-1980 Contaminación atmosférica-fuentes fijas-determinación de ácido sulfhídrico en gases que fluyen por un conducto.
- NOM-AA-70-1980 Contaminación atmosférica-fuentes fijas-determinación de cloro u cloruros en gases que fluyen por un conducto.
- NOM-AA-85-1986 Protección al ambiente-contaminación

- atmosférica fuentes fijas-gasómetros  
húmedos-calibración-metodo de sifoneo.
- NOM-AA-88-1986** Protección al ambiente-contaminación  
atmosférica-fuentes fijas-gasómetros  
secos-calibración.
- NOM-AA-90-1986** Contaminación atmosférica-fuentes  
fijas-determinación de neblina de ácido  
fosfórico en los gases que fluyen por un  
conducto.
- NOM-AA-106-1987** Calidad de aire-determinación del  
diámetro máximo de poro en filtros  
rígidos y de membrana en función de la  
presión.
- NOM-AA-107-1988** Calidad del aire-estimación de la altura  
efectiva de chimenea y de la dispersión  
de contaminantes (método de prueba).

#### **2.1.4 LIMITES PERMISIBLES DE CONTAMINACION ATMOSFERICA**

Considerando que la Ley General de Equilibrio ecológico y la protección al ambiente, prevé que las emisiones a la atmósfera deberán sujetarse a las normas técnicas ecológicas en las que se determinen los niveles máximos permisibles de emisión, por contaminante o por fuente de contaminación, a fin de asegurar una calidad de aire satisfactoria para el bienestar de la población y para

asegurar el equilibrio ecológico.

Que la emisión de dichos contaminantes produce deterioro a la calidad del aire si se rebasa ciertos límites, por lo que es necesario el control de dichas emisiones a través del establecimiento de los niveles máximos permisibles, que aseguren que no se originen alteraciones significativas al medio ambiente.

Que para la determinación de los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera, previstos en esta norma se tomo en consideración la optimización de los procesos de combustión, la tecnología de control actuales, así como la aplicación de los combustibles de la mejor calidad.

Que en la formulación de la presente norma participó la Secretaría de Salud en lo referente a la salud humana.

En merito a lo anterior se han tenido que dictar los siguientes límites permisibles:

## **DIESEL**

**ARTICULO 4º**-Los Niveles Máximos Permisibles de Emisión a la Atmósfera (N.M.P.E.A.) de partículas, monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxido de nitrógeno para procesos de combustión de diesel en fuentes fijas (NTE-CCAT-005 88.) son los siguientes:

CONTAMINANTES	N.M.P.E.A.	
	Zona crítica kg/m <sup>3</sup> *	Resto del país kg/m <sup>3</sup> *
Partículas	0.260	0.300
Monóxido de carbono	0.600	0.665
Dióxido de azufre	17.000	34.000
Oxido de nitrógeno*	2.700	3.000

\* KILOGRAMOS DE CONTAMINANTES POR CADA METRO CUBICO DE DIESEL CONSUMIDO A 298°K (25°C)

\* LOS OXIDOS DE NITROGENO EXPRESADOS COMO DIOXIDO DE NITROGENO.

#### CARBON

ARTICULO 4º-Los Niveles Máximos Permisibles de Emisión a la Atmósfera (N.M.P.E.A.) de partículas, monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno provenientes de procesos de combustión de carbón en carbocéntricas (NTE-CCAT-006 88.) son los siguientes:

CONTAMINANTES	N.M.P.E.A. EN kg/m <sup>3</sup> *
Partículas	3.600
Monóxido de carbono	0.260
Dióxido de azufre	51.300
Oxido de nitrógeno**	10.000

\* KILOGRAMOS DE CONTAMINANTES POR CADA METRO CUBICO DE CARBON CONSUMIDO EN BASE SECA.

\*\* LOS OXIDOS DE NITROGENO EXPRESADOS COMO DIOXIDO DE NITROGENO.

## COMBUSTOLEO

ARTICULO 4º-Los Niveles Máximos Permisibles de Emisión a la Atmósfera (N.M.P.E.A.) de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno provenientes de procesos de combustión de combustóleo en fuentes fijas (NTE-CCAT-007 88.) son los siguientes:

CONTAMINANTES	N.M.P.E.A.	
	Zonas crítica kg/m <sup>3</sup> a	Resto del país kg/m <sup>3</sup> a
Partículas	4.240	6.740
Monóxido de carbono	0.600	0.660
Bióxido de azufre	57.000	95.000
Oxido de nitrógeno <sup>b</sup>	6.600 <sup>c</sup>	6.600 <sup>c</sup>
	8.000 <sup>d</sup>	8.000 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> KILOGRAMOS DE CONTAMINANTES POR CADA METRO CUBICO DE COMBUSTOLEO CONSUMIDO A 298 °K (25 °C).

<sup>b</sup> LOS OXIDOS DE NITROGENO EXPRESADOS COMO BIOXIDO DE NITROGENO.

LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES SE ESPECIFICAN DE ACUERDO AL TAMAÑO DEL EQUIPO, EN DOS GRUPOS:

<sup>c</sup> PARA EQUIPOS DE COMBUSTION DE CAPACIDAD HASTA DE 106x10<sup>6</sup> JOULES / HORA.

<sup>d</sup> PARA EQUIPOS DE COMBUSTION DE CAPACIDAD MAYOR DE 106x10<sup>6</sup> JOULES / HORA.

## GAS NATURAL

ARTICULO 4º-Los Niveles Máximos Permisibles de Emisión a la Atmósfera (N.M.P.E.A.) de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno provenientes de

procesos de combustión de gas natural en fuentes fijas (NTE-CCAT-008 88.) son las siguientes:

CONTAMINANTES	N.M.P.E.A. kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> *
Partículas	100
Monóxido de carbono	500 <sup>b</sup>
	640 <sup>c</sup>
Dióxido de azufre	10
Oxido de nitrógeno <sup>b</sup>	2250 <sup>c</sup>
	9000 <sup>d</sup>

\* KILOGRAMOS DE CONTAMINANTE POR CADA MILLON DE METROS CUBICOS DE GAS NATURAL CONSUMIDO A UN KILOGRAMO POR CENTIMETRO CUADRADO (9800 Pa) Y 298 °K (20 °C).

<sup>b</sup> LOS OXIDOS DE NITROGENO EXPRESADOS COMO DIOXIDO DE NITROGENO.

LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES SE ESPECIFICAN DE ACUERDO AL TAMAÑO DEL EQUIPO, EN DOS GRUPOS:

<sup>c</sup> PARA EQUIPOS DE COMBUSTION DE CAPACIDAD HASTA DE 100x10<sup>6</sup> JOULES / HORA.

<sup>d</sup> PARA EQUIPOS DE COMBUSTION DE CAPACIDAD MAYOR DE 100x10<sup>6</sup> JOULES / HORA.

## CAPITULO TRES

## PROCESOS DE EMISION

### 3.1 ELEMENTOS CONTAMINANTES DE LA ATMOSFERA

#### 3.1.1 CONCEPTOS DE EMISION E INMISION

El proceso de contaminación de la atmósfera, comienza al depositarse en ella los contaminantes y continúa con la presencia de los mismos en el medio gaseoso, que es muy variable en el tiempo, según las propiedades de los compuestos y condiciones ambientales.

La evaluación de la contaminación debe comenzar pues, desde la misma iniciación del proceso, es decir, desde la emisión de los productos. Por emisión se entiende a la totalidad de sustancias que pasan a la atmósfera después de dejar las fuentes de las que proceden. Según esta idea, emisiones son los gases de escape de los automóviles, los humos de las chimeneas, los vapores de diversos procesos industriales, etc., en el momento en que abandonan su fuente de procedencia y pasan a formar parte del aire adyacente.

Una vez producida la emisión, los compuestos se distribuyen por la atmósfera según un proceso de difusión que principalmente depende de dos tipos de factores:

- 1) específicos del contaminante, como pueden ser velocidad de salida, temperatura, forma, tamaño, peso, etc., y
- 2) meteorológicos, por ejemplo, velocidad del viento, gradiente de temperatura, humedad, etc.

La difusión de los contaminantes, es un proceso cuya



terminación es difícil de especificar ya que representa una continua dilución de ellos en la atmósfera. La evaluación de los contaminantes está relacionada con la idea de inmisión. Como tal, se entiende la permanencia de los compuestos de forma continua o temporal en la atmósfera presente al nivel del suelo.

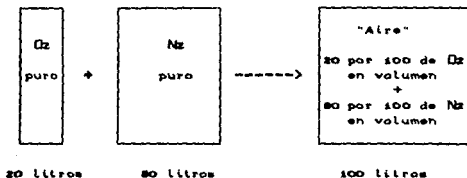
Los niveles de emisión e inmisión se hallan regulados en la mayoría de los países mediante la especificación de los límites máximos. En primer lugar aparece la concentración máxima de emisión y que representa la mayor cantidad de contaminante que la fuente es autorizada a emitir. En el caso de inmisión el correspondiente límite se denomina concentración máxima de inmisión. Este valor, representa la limitación de tipo sanitario que regule la calidad de aire en cuestión.

### 3.1.2 CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS CONTAMINANTES DEL AIRE

Los elementos contaminantes del aire se encuentran clasificados en dos grandes grupos: gases y polvos ó partículas suspendidas. Los primeros encuentran su origen principalmente en los productos de la combustión; las partículas provienen generalmente de los diversos procesos industriales.

### 3.1.3 CONTAMINANTES GASEOSOS

Las concentraciones de los gases del aire suelen expresarse en razones o volúmenes. Para ilustrarlo, imaginemos que efectuamos una mezcla que designaremos como "aire", consistente en 20 litros de oxígeno (O<sub>2</sub>) Y 80 litros de nitrógeno (N<sub>2</sub>). (Esta no es la misma composición que la atmósfera de la Tierra, pero es muy parecida a ella.) Entonces la composición será de 20/100 ó 20 por 100, O<sub>2</sub> en volumen y 80/100 ó 80 por 100 de N<sub>2</sub> en volumen.



(suponiendo temperatura y presión constante)

fig. (3.1) REPRESENTACION DE LA COMPOSICION DE LA ATMOSFERA DE LA TIERRA.

Imaginemos ahora que mezclamos el aire con un contaminante, como el bióxido de azufre, SO<sub>2</sub>. Las concentraciones podrán expresarse como sigue:

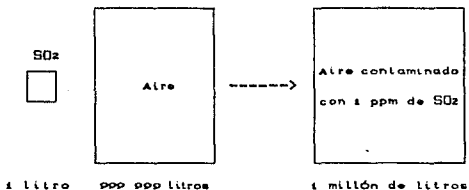


fig. (8.2) REPRESENTACION DE LA CONCENTRACION DE UN CONTAMINANTE.

En la ilustración superior, 1 ppm significa "una parte por millón", o un volumen de SO<sub>2</sub> en un millón de volúmenes de aire contaminado. Al tratar con concentraciones más pequeñas todavía, nos servimos algunas veces de la expresión "partes por 1 000 millones", o ppb, lo que significa volúmenes de contaminante por 1 000 millones.

En los gases a temperatura y presión constantes, los volúmenes ocupados son directamente proporcionales al número de moléculas contenidas. Por consiguiente, decir que hay 1 ppm de SO<sub>2</sub> en el aire significa que una molécula entre un millón es una molécula de SO<sub>2</sub>.

A continuación se hace una descripción de cada uno de los contaminantes gaseosos tan comunes como peligrosos para la vida en nuestro planeta.

**CO<sub>2</sub>**      **Bióxido de carbono**

Se origina en los procesos de combustión para la producción de energía, en la industria y en la calefacción. Su acumulación podría aumentar la temperatura de la superficie terrestre y ocasionar un desastre ecológico. Es un gas tóxico para la respiración. Interviene en la fotosíntesis donde se degrada por las plantas verdes durante las horas de sol.

**CO**      **Monóxido de carbono**

Se produce por combustiones incompletas, en particular de la siderúrgica, de las refinerías de petróleo y de los vehículos de motor de combustión interna. Este gas también puede afectar a la estratosfera. Es un poderoso veneno que toma el lugar del oxígeno en la hemoglobina sanguínea.

**SO<sub>2</sub>**      **Oxidos de azufre**

Proviene del humo de las centrales eléctricas, fábricas, automóviles y combustible de uso doméstico que contiene a menudo ácido sulfúrico. El aire así contaminado agrava las

(Principalmente dióxido de azufre)

enfermedades respiratorias, corroe los árboles y los edificios de piedra caliza (mármol), afecta algunos textiles sintéticos.

NO<sub>(n)</sub> Oxidos de  
nitrógeno

Se produce por los motores de combustión interna, el uso excesivo de fertilizantes, el incendio de bosques y las instalaciones industriales. Forma el "smog" de las grandes ciudades y favorece diversas enfermedades del aparato respiratorio.

Pb Plomo

Su fuente principal son los antidetonantes que se adicionan a los combustibles. También contribuyen las fundiciones de este metal, los plaguicidas y la industria química. Se trata de un tóxico que ocasiona el saturnismo alterando las enzimas y el metabolismo celular.

DDT y otros  
plaguicidas

Hasta en bajas concentraciones son muy tóxicos para los crustáceos; se

les emplea en la agricultura y al ser diseminados por el agua, causan la muerte de los peces. Contaminan también la alimentación humana y pueden provocar cáncer. Su uso daña algunas especies de insectos útiles, lo que contribuye a la aparición de nuevas plagas.

Los hidrocarburos son peligrosos contaminantes del aire, comprendiendo los ligeros, los acíclicos, los alicíclicos y los aromáticos; los hidrocarburos policondensados y los poliaromáticos se originan también en fuentes naturales, como las minas de carbón, las chapopoterías y algunos vegetales. Las fuentes derivadas de la tecnología del petróleo son numerosas: procesos de producción, de almacenamiento, de transporte, petroquímica, así como las fuentes móviles ya citadas.

#### 3.1.4 CONTAMINACION POR PARTICULAS

No todos los contaminantes del aire son gases. Algunos son partículas sólidas o pequeñas gotas líquidas transportadas por el aire, que son cuerpos mucho más grandes que las moléculas individuales. Por ejemplo, el diámetro de una partícula de polvo podrá ser 100 000 veces

mayor que el de una molécula de gas. Las concentraciones de partículas suelen expresarse en términos de peso del contaminante por unidad de volumen de aire. En la figura (3.2), se ilustran los volúmenes relativos.

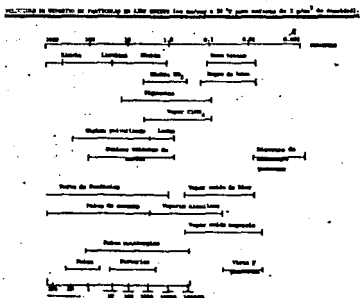


fig. (3.3) PARTICULAS PEQUEÑAS EN EL AIRE.

Medimos en ocasiones la velocidad a que las partículas se depositan del aire. En los informes de contaminación del aire se acostumbra usar expresiones en unidades tales como "toneladas de precipitación de polvo por kilómetro cuadrado y por mes". Sin embargo, tales cifras nos dicen muy poco acerca de las concentraciones totales en el aire. Obsérvese en la figura (3.3), por ejemplo, que una partícula de polvo de carbón de 10 micrómetros se deposita

aproximadamente a 1 cm, por segundo, en tanto que una partícula de 1/10 micrómetro de humo se deposita a una velocidad varios miles de veces más lenta, y las moléculas de gas no se depositan en absoluto.

El tamaño de la partícula se relaciona positivamente con la velocidad de depósito. De ahí que las partículas de polvo sean molestas solamente a distancias relativamente cortas de su origen. Las partículas muy pequeñas se depositan tan lentamente que permanecen en el aire durante largos períodos de tiempo y pueden ser llevadas a grandes distancias, a menudo de muchos kilómetros.

Los contaminantes en forma de partícula pueden obstaculizar la transmisión de calor del Sol a la Tierra, reflejando una porción de los rayos solares lejos de ésta.

### 3.2 FUENTES DE CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA

#### 3.2.1 CLASIFICACION

Las fuentes de contaminación del aire que son variadas, se han clasificado en tres para su estudio:

- Fijas
- Móviles
- Naturales



### 3.2.2 FUENTES FIJAS

Entre estas se encuentran las industrias que, de alguna forma, están arrojando contaminantes al aire de una manera constante. En nuestro país, este tipo de establecimientos están concentrados principalmente en las grandes ciudades, como Monterrey, Guadalajara y D.F. Esta última se considera como una de las ciudades más contaminadas del mundo.

Las fuentes fijas actúan sobre todas las áreas de la biosfera, y producen, tanto emisiones de humos, polvos, gases, ruido, radiaciones, etc., como descargas de aguas residuales o desechos sólidos que afectan, por igual, el aire, los diversos cuerpos receptores de agua o la tierra, por deterioro superficial, filtración o acarreo.

Esto se evidencia por que las fuentes fijas -y aquí se computan las domésticas- son los medios en los que el hombre aplica su capacidad para obtener los múltiples satisfactores que precisa una sociedad en expansión, a fin de atender sus necesidades. En esa medida, demandan una variedad infinita de insumos que, por desgracia, no pueden ser aprovechados íntegramente, generando como anteriormente fue afirmado, desechos, residuos o desperdicios.

### 3.2.3 FUENTES MOVILES

Son aquellas que como su nombre lo indica estan en movimiento. Dentro de esta categoria se incluyen todos los vehiculos (autos, camiones, aviones, barcos) que tienen motor de combustión interna. Los vehiculos en malas condiciones de mantenimiento producen y liberan numerosos contaminantes a la atmósfera, aumentando con esto la contaminación del aire.

Las fuentes móviles son las causantes del mayor porcentaje de contaminación atmosférica en las áreas urbanas de todo el mundo, por ejemplo en E.E.U.U. 100 millones de vehiculos queman anualmente 250 mil millones de litros de combustible, y arrojan un increíble número de toneladas de bióxido y monóxido de carbono y de hidrocarburos. Según la EPA las fuentes móviles causaron el 60% de la contaminación atmosférica en 1980, la suma llegó al 80% en algunas áreas urbanas.

### 3.2.4 FUENTES NATURALES

Se consideran naturales las erupciones y el desalojo de gases producidos por los volcanes, las tolvaneras causadas por suelos erosionados y por la tala desmedida de árboles y los incendios forestales entre otras.

### 3.3 PROCESOS GENERADORES DE EMISION

#### 3.3.1 CLASIFICACION

Las fuentes emisoras de contaminantes son muy numerosas y se concentran principalmente en los entornos urbanos y en las areas de elevada densidad industrial, aunque existen algunas muy importantes, como las plantas térmicas, que suelen estar alejadas de los núcleos habitados.

Su clasificación en unos pocos tipos no resulta fácil por su gran diversidad. Pese a ello, en lo que sigue, se agruparan atendiendo a la índole particular de su actividad.

Dos apartados distintos podrían hacerse:

- 1) Fuentes de producción de energía
- 2) Fuentes de producción de bienes materiales

#### 3.3.2 PROCESOS DE COMBUSTION GENERADORES DE ENERGIA

En los momentos actuales más del 90% de la energía utilizada se obtiene por procesos de combustión en sus múltiples formas. Según la clase de energía obtenida, este primer tipo de fuentes pueden a su vez subdividirse en:

- 1) Producción de energía eléctrica
- 2) Producción de energía mecánica
- 3) Producción de energía calorífica

El primer apartado incluye las plantas térmicas (excepto las geotérmicas) y nucleares, ya que las hidráulicas no dan origen a ninguna contaminación. Estas plantas emplean principalmente carbón y derivados del petróleo, gas natural y por supuesto uranio enriquecido.

Las fuentes de producción de energía mecánica están constituidas por los transportes en sus múltiples facetas y sus focos típicamente móviles. La aviación es una fuente importante por el elevadísimo volumen de gases que produce. La evolución del sector tiende a agravar el problema, pues por una parte crece enormemente la intensidad del transporte aéreo y por otra, los núcleos urbanos se acercan más y más a los aeropuertos, en su expansión.

Las fuentes de producción de energía calorífica están constituidas por los generadores de calor domésticos e industriales. Los combustibles empleados son muy variados, entre ellos figuran la madera, el carbón, los aceites de petróleo, gas natural, gases licuados, etc.

### 3.3.3 PROCESOS DE PRODUCCION DE BIENES MATERIALES

En las fuentes de producción de bienes materiales deben incluirse todas las industrias que, de una u otra forma, pueden emitir a la atmósfera compuestos extraños a ella. Esta particularidad engloba a la casi totalidad de las actividades industriales.

La propia diversidad de características de las diferentes plantas industriales hace que la naturaleza de los contaminantes emitidos sean enormemente diferentes. Desde el polvo inorgánico e inerte químicamente, de la industria cementera o minera, hasta los compuestos típicamente orgánicos y biológicamente significativos de los laboratorios y las fábricas de productos alimenticios, existe una gama numerosa de sustancias químicas potencialmente contaminadoras.

Las emisiones se producen en instalaciones muy diversas entre las que se pueden citar las industrias del petróleo y petroquímicas, las fertilizantes, cementos, metales y cosméticos; plantas de curtidos y textiles, e industrias de la alimentación y productos químicos y farmacéuticos, además de la metalurgia, siderurgia, industria papelera, etc.

Por ello, el estudio de este tipo de contaminación requiere un gran detenimiento.

## CAPITULO CUATRO

## FLUJO DE GASES EN DUCTOS

## 4.1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

### 4.1.1 GENERALIDADES

La mecánica de los fluidos se ocupa del estudio de los fluidos en movimiento ó en reposo y los efectos consiguientes sobre los contornos, que pueden ser una superficie solida u otro fluido. Como ciencia esta basada en un compromiso adecuado entre la teoría y la experiencia. Por ser la mecánica de fluidos una rama de la mecánica, dispone de un conjunto de leyes de conservación bien documentadas y es posible, por lo tanto, un tratamiento teórico riguroso, sin embargo, la teoría es a veces frustrante, por que se refiere principalmente a ciertas situaciones ideales que pueden no ser validas en casos prácticos.

Los dos obstaculos mayores para el tratamiento teórico son la geometria y la viscosidad.

La teoría general del movimiento de los fluidos es demasiado dificil para permitir abordar configuraciones geométricas arbitrarias, de modo que la mayor parte de los escritos sobre el tema se concentran sobre placas planas, conductos circulares y otras geometrías.

También es posible aplicar métodos numéricos a geometrías.

El segundo obstáculo para la teoría es la acción de la

viscosidad, que puede ser despreciada solamente en algunos flujos idealizados.

En primer lugar, la viscosidad aumenta la dificultad de las ecuaciones básicas, aunque la aproximación de cada límite, hallada por Ludwig Prandtl en 1904 ha simplificado enormemente el análisis de los flujos viscosos. En segundo lugar, la viscosidad tiene un efecto desestabilizador en todos los flujos, dando lugar, incluso a velocidades muy pequeñas, a un fenómeno desordenado y aleatorio llamado turbulencia. La teoría de los flujos turbulentos es rudimentaria y descansa principalmente sobre la experimentación, aunque es muy útil para estimaciones ingenieriles.

Desde el punto de vista de la mecánica de los fluidos la materia solo puede presentarse en dos estados: sólido y fluido.

Un fluido es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

Los fluidos se clasifican en líquidos y gases.

Los líquidos a una presión y temperatura determinadas ocupan un volumen determinado. Introduciendo el líquido en un recipiente adopta la forma del mismo, pero llenando solo el volumen que le corresponde. Si sobre el líquido reina una presión uniforme, por ejemplo, la atmosférica, el líquido adopta, como se verá, una superficie libre plana,



como la superficie de un lago o la de un cubo de agua.

Los gases a una presión y temperatura determinada tienen también un volumen determinado, pero puestos en libertad se expansionan hasta ocupar el volumen completo del recipiente que lo contiene, y no presentan superficie libre.

En resumen; los sólidos ofrecen gran resistencia al cambio de forma y volumen; los líquidos ofrecen gran resistencia al cambio de volumen, pero no de forma; y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y volumen.

Por tanto, el comportamiento de líquidos y gases es análogo en conductos cerrados (tuberías); pero no en conductos abiertos (canales), por que solo los líquidos son capaces de crear una superficie libre.

#### 4.1.2 PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE UN FLUIDO

Aunque el campo de velocidades  $V$  es la propiedad más importante del flujo, este interactúa con las propiedades termodinámicas del fluido como son:

- 1) presión  $p$
- 2) densidad  $\rho$
- 3) temperatura  $T$

Al entrar en juego el trabajo, el calor y el equilibrio energético aparecen otras cuatro propiedades termodinámicas

- 4) energía interna  $u$

5) entalpía  $h = u + P/\rho$

6) entropía  $s$

7) calores específicos  $C_p$  y  $C_u$

por otro lado, los efectos de fricción y conducción de calor están gobernados por los fenómenos de transporte.

8) coeficiente de viscosidad  $\mu$

9) conductividad térmica  $k$

Estas nueve magnitudes son auténticas propiedades termodinámicas, que se determinan por la condición termodinámica o estado del fluido. Por ejemplo, en una sustancia con una sola fase como oxígeno o agua, es suficiente conocer dos de las propiedades básicas, como presión y temperatura, para determinar las demás:

$$\rho = \rho(p, T) \quad h = h(p, T) \quad \mu = \mu(p, T)$$

y así para todas las magnitudes de la lista. Nótese que el volumen específico, tan importante en termodinámica, es omitido aquí en favor de su inverso, la densidad  $\rho$ .

A continuación se describen las propiedades de las variables utilizadas para describir los flujos en chimeneas:

## Densidad específica o absoluta

La densidad es la masa por unidad de volumen,

$$\rho = \frac{m}{V}$$

( 1 )

donde  $m$  — masa en kg, SI.

$V$  — volumen en  $m^3$ , SI.

La densidad absoluta en función de la temperatura y de la presión. La densidad absoluta de los líquidos en función de la temperatura es muy pequeña, salvo a muy altas presiones y para los cálculos prácticos esta pequeña variación puede despreciarse.

Ecuaciones de dimensiones:  $[\rho] = [M] [L]^{-3}$

Unidad en SI:

$$1 \rho = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Factor de conversión del ST al SI y viceversa:

$$9,81 \frac{\text{kg}/\text{m}^3}{\text{kp s}^2/\text{m}^4} = 1$$

La densidad del agua destilada a la presión atmosférica de 4°C es máxima e igual aproximadamente a:

$$\rho = 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### Peso específico

Peso específico es el peso por unidad de volumen,

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2)$$

donde  $W$  — peso en N, SI.

$V$  — volumen en  $\text{m}^3$ , SI.

El peso específico es función de la temperatura y de la presión aunque en los líquidos no varía prácticamente con esta última.

Ecuación de dimensiones:

$$[\gamma] = \frac{[W]}{[V]} = [F][L]^{-3} = [M][L]^{-2}[T]^{-2}$$

Unidades en SI:

$$1 \gamma = \frac{1\text{N}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}^2}$$

Factor de conversión del ST al SI y viceversa:

$$9,81 \frac{\text{N/m}^3}{\text{kp/m}^3} = 1$$

Como  $W = m g$ , de las ec. (1) y (2) se deduce qué

$$\gamma = \rho g \quad (3)$$

### Densidad relativa

Densidad relativa es la relación entre la masa del cuerpo a la masa de un mismo volumen de agua destilada a presión atmosférica y a 4°C. En virtud de la ec. (3), esta relación es igual a la de los pesos específicos del cuerpo en cuestión y del agua en las mismas condiciones. Es evidente que la densidad relativa es una magnitud adimensional.

### PRESION ATMOSFERICA

Sobre la superficie de un líquido reina la presión del aire o gas que sobre ella existe. Esta presión puede adquirir un valor cualquiera en un recipiente cerrado; pero si el recipiente está abierto, sobre la superficie libre

del líquido reina la presión atmosférica  $P_{amb}$ , debida al peso de la columna de aire que gravita sobre el fluido.

La presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud. La presión media normal a  $0^{\circ}\text{C}$  y al nivel del mar es de 760 Torr = 1.01325 bar y se llama atmósfera normal. En la técnica se utiliza mucho la atmósfera técnica, que es igual a 1 bar. Por tanto, hay tres atmósferas:

Atmósfera normal	1.01325 bar
Atmósfera técnica	1 bar
Atmósfera local y temporal	presión atmosférica reante en un lugar y tiempo determina- dos.

---

#### PRESION ABSOLUTA Y PRESION EXCEDENTE O RELATIVA

Las presiones absolutas se miden con relación al 0 absoluto (vacío total o 100% de vacío) y las presiones relativas con relación a la atmósfera.

La mayoría de los manómetros, están contruidos de manera que miden presiones relativas con relación a la atmósfera local. Para hallar la presión absoluta con exactitud habrá de sumar a la presión leída en el manómetro la presión atmosférica local medida exactamente con un barómetro.

Muchas veces no se necesita gran precisión y entonces se suma a la lectura del manómetro (presión relativa) la atmósfera técnica, que es igual a 1 bar.

De aquí resulta la ecuación fundamental:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{e}} + P_{\text{amb}} \quad (4)$$

donde  $P_{\text{abs}}$  — presión absoluta, Pa, SI.

$P_{\text{e}}$  — presión relativa, Pa, SI (medida con manómetro)

$P_{\text{amb}}$  — presión atmosférica, presión ambiente o presión barométrica, Pa, SI (medida con un barómetro).

Al tratar con problemas de corrientes fluidas se utilizan comúnmente diversos tipos de presión. La presión estática es la que aprecia un instrumento de medida que se desplaza con la misma velocidad que la corriente fluida. La presión total o de impacto es la fuerza por unidad de área perpendicular a la dirección de flujo que se produce al quedar reversiblemente estancado el líquido. Para un fluido de densidad constante la presión de impacto viene dada por

$$P_{\text{total}} = P_{\text{impacto}} = \frac{\rho V^2}{2 g_c} + P_{\text{estatica}} \quad (5)$$

en donde  $\rho$  es la densidad del fluido y  $V$  la velocidad. La diferencia entre la presión de impacto y la estática es la debida a la velocidad o presión dinámica.

La figura (4.1) ilustra los diferentes tipos de presiones.

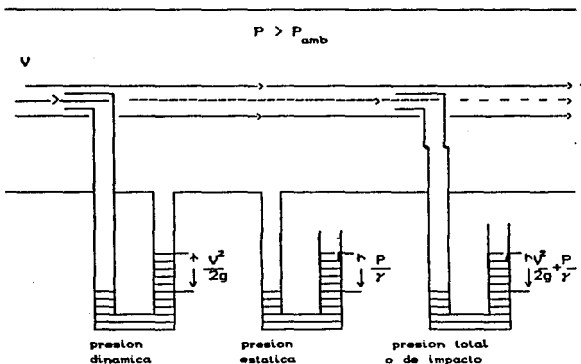


fig. (4.1) TIPOS DE PRESIONES.

En las corrientes fluidas a través de una conducción las corrientes estáticas prevalecen junto a las paredes. La velocidad junto a la pared es nula y, por lo tanto, la presión medida en estas condiciones es la presión estática. Si las partículas del fluido se desplazan paralelamente a la línea central del conducto la presión estática es



uniforme en cualquier sección del mismo.

Para medir presiones ligeramente distintas a la atmosférica se puede utilizar un manómetro y la presión se determina de acuerdo a la fórmula hidrostática dada por la ecuación:

$$\Delta P = \gamma h = \frac{\rho \cdot g \cdot h}{g} \quad ( 6 )$$

El líquido manométrico puede ser mercurio, agua, alcohol, etc.

#### 4.1.3 ECUACIONES DE ESTADO PARA GASES

Las propiedades termodinámicas se pueden relacionar entre sí, tanto teórica como experimentalmente, por medio de relaciones o ecuaciones de estado que varían de una sustancia a otra. El segundo fluido más común, el aire, es una mezcla de gases, pero como las proporciones de la mezcla permanecen casi constantes entre los 160 y 2200 °K, en este rango se puede considerar como una sustancia pura.

Todos los gases a altas temperaturas y bajas presiones (relativas a su punto crítico) siguen muy bien la ley de los gases perfectos.

$$P = \rho R T \quad R = c_p - c_v = \text{constante del gas} \quad ( 7 )$$

Como la ecuación ( 7 ) es dimensionalmente constante, R tiene las mismas dimensiones que un calor específico,  $L^2 T^{-2} \theta^{-1}$ , o la velocidad al cuadrado dividida por grado. Cada gas tiene su propia constante R igual a una constante universal  $\hat{r}$  dividida por el peso molecular.

$$R_{\text{gas}} = \frac{\hat{r}}{M_{\text{gas}}} \quad ( 8 )$$

donde  $\hat{r} = 49\,700 \text{ ft}^2/(\text{s}^2 \text{ } ^\circ\text{R}) = 8310 \text{ m}^2/(\text{s}^2 \text{ K})$ .

Para aire  $M = 28,97$

$$R_{\text{aire}} = 1717 \text{ ft}^2/(\text{s}^2 \text{ } ^\circ\text{R}) = 287 \text{ m}^2/(\text{s}^2 \text{ K}) \quad ( 9 )$$

La presión atmosférica estándar es  $101\,325 \text{ Pa} = 2116 \text{ lbf/ft}^2$  y la temperatura estándar es  $298 \text{ } ^\circ\text{K} = 77 \text{ } ^\circ\text{F} = 537 \text{ } ^\circ\text{R}$ . Por lo tanto, la densidad estándar del aire es

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{2116}{(1717)(537)} = 0.00229 \text{ slug/ft}^3 = 1.18 \text{ kg/m}^3 \quad (10)$$

## 4.2 ECUACIONES DE BERNOULLI

### 4.2.1 ECUACION DE EULER

Consideremos la siguiente figura, el punto  $A(x, y, z)$  en el centro del paralelepipedo rectangular

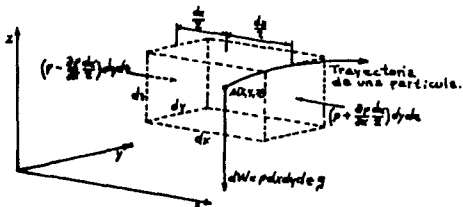


fig. (4.2) DEDUCCION DE LAS ECUACIONES DE EULER. SE SUPONE REGIMEN PERMANENTE Y QUE LA UNICA FUERZA EXTERIOR QUE ACTUA SOBRE EL FLUIDO ES LA GRAVEDAD ( $dW$ ). SOBRE EL FLUIDO AISLADO, ACTUA TAMBIEN LA FUERZA DEBIDA A LA PRESION QUE EJERCE EL FLUIDO EXTERIOR SOBRE EL PARALELEPIPEDO.

Sea  $p = p(x, y, z)$  la presión en el punto A. Las presiones en las caras izquierda y derecha serán respectivamente:

$$P + dP = P - \frac{\delta P}{\delta x} \frac{dx}{2}$$

$$P + dP = P + \frac{\delta P}{\delta x} \frac{dx}{2}$$

como se indica en la figura.

- Sobre las seis caras del paralelepipedo actúa la fuerza debida a la presión. Por claridad en la figura (4.1)

solamente se han indicado las fuerzas debidas a la presión que actua sobre las caras normales al eje X;

- El eje Z se ha elegido, como es costumbre en hidraulica, vertical hacia arriba;

- Por tanto en el paralelepipedo actúa la fuerza de la gravedad  $dW$  en la dirección negativa del eje Z, como se indica en la figura; siendo esta fuerza igual a la masa del paralelepipedo por la aceleración de la gravedad:

$$dW = \rho \, dx \, dy \, dz \, g$$

La segunda ley de newton ( $F=ma$ ) según el eje x, siendo la masa del paralelepipedo  $dm = \rho \, dx \, dy \, dz$ , nos proporciona la siguiente ecuación:

$$\rho \, dx \, dy \, dz = \frac{dV_x}{dt} = \left( P - \frac{\delta P dx}{\delta x z} \right) dy dz - \left( P + \frac{\delta P dx}{\delta x z} \right) dy dz$$

dividiendo ambos miembros por la masa del paralelepipedo y simplificando se tiene:

$$\frac{dV_x}{dt} dx = - \frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta x} \quad (1)$$

analogamente para el eje y:

$$\frac{dV_y}{dt} dy = - \frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta y} \quad (2)$$

En la ecuación correspondiente al eje Z se ha de introducir en el segundo miembro la fuerza debida a la gravedad, indicada en la figura (4.2).

$$\frac{dV_z}{dt} dz = - g - \frac{\delta P}{\delta z} \frac{1}{\rho} \quad (3)$$

#### 4.2.2 ECUACION DE BERNOULLI PARA FLUIDO IDEAL

Tomando las ecuaciones de Euler en forma sintetizada y multiplicando la primera ecuación por  $dx$ , la segunda por  $dy$  y la tercera por la  $dz$ , tendremos:

$$\frac{dV_x}{dt} dx = -\frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta x} dx$$

$$\frac{dV_y}{dt} dy = -\frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta y} dy$$

$$\frac{dV_z}{dt} dz = -g dz - \frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta x} dz$$

sumando miembro a miembro las tres ecuaciones tendremos:

$$\frac{dV_x}{dt} dx + \frac{dV_y}{dt} dy + \frac{dV_z}{dt} dz = -g dz - \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\delta P}{\delta x} dx + \frac{\delta P}{\delta y} dy + \frac{\delta P}{\delta x} dz \right] \quad (4)$$

Ahora bien, como

$$\frac{dx}{dt} = V_x, \quad \frac{dy}{dt} = V_y \quad \text{y} \quad \frac{dz}{dt} = V_z$$

el primer miembro de la ecuación (4) se transforma así:

$$V_x dV_x + V_y dV_y + V_z dV_z = \frac{1}{2} d(V_x^2 + V_y^2 + V_z^2) = \frac{1}{2} d(V^2)$$

al suponer que el regimen es permanente, P no es función de t, y su diferencia total sera:

$$dP = \frac{\delta P}{\delta x} dx + \frac{\delta P}{\delta y} dy + \frac{\delta P}{\delta z} dz$$

con lo cual la ecuación ( 2 ) se transforma en:

$$\frac{dP}{\rho} + gz + \frac{(V)^2}{2} = 0$$

integrando esta última ecuación entre dos puntos cuales quiera 1 y 2, situados en la misma línea de corriente, que en el regimen permanente coincide con la trayectoria del movimiento y siguiendo con la hipótesis de un fluido incompresible ( $\rho = c$ ) se tiene:

$$\frac{dP_1}{\rho} + gz_1 + \frac{(V_1)^2}{2} = \frac{dP_2}{\rho} + gz_2 + \frac{(V_2)^2}{2} \quad ( 5 )$$

que nos dice que la suma  $\frac{dP}{\rho} + gz + \frac{(V)^2}{2}$  es constante a lo largo de una misma línea de corriente, ya que, los puntos 1 y 2 son dos puntos cuales quiera de esta línea, o sea:

$$\frac{dP}{\rho} + gz + \frac{(V)^2}{2} = C$$

dividiendo los dos miembros de esta última ecuación por g se tiene:

$$\frac{dP_1}{\rho g} + z_1 + \frac{(V_1)^2}{2g} = \frac{dP_2}{\rho g} + z_2 + \frac{(V_2)^2}{2g} = C \quad (6)$$

En el estudio de la mecánica de un fluido incompresible este se simplifica por que:

a) No se ocupa del calor ni de su transformación en otras formas de energía, lo cual pertenece al dominio de la Termodinámica.

b) No se ocupa de la energía atómica liberada en la fisión o fisión del átomo, de la energía química liberada o absorbida en las reacciones químicas, ni de otras muchas formas de energía como la eléctrica, magnética, etc. De estas formas de energía se ocupa la ingeniería Nuclear, la Ingeniería Química, etc.

c) Se ocupa solo de las tres formas siguientes de energía del fluido: energía potencial geodésica, energía de presión y energía cinética.

d) Estudia las transformaciones de estas tres formas entre sí y de su intercambio con el trabajo mecánico.

---

#### Energía potencial geodésica

Energía potencial geodésica o simplemente energía geodésica o de posición es igual al trabajo que la fuerza

de la gravedad puede ejercer cuando la altura desciende de  $z_1$  a  $z_2$ . Cuando el liquido se remonta, con una bomba por ejemplo, el nivel inferior  $z_2$  al superior  $z_1$ , es preciso ejercer sobre el un trabajo contra la fuerza de la gravedad igual y de sentido contrario que se transforma en la susodicha energía potencial. Las alturas se refieren, lo mismo que en hidrostática, a un plano de referencia,  $z = 0$ . Siendo la fuerza de la gravedad igual al peso del fluido,  $W = \rho g V$ , se tiene:

Energía geodésica total:

$$E_z = \rho g V z \quad (7)$$

(J,SI)

Energía geodésica específica:

$$e_z = \frac{\rho g V z}{\rho V} = g z \quad (8)$$

(m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>,SI)

---

### Energía de presión

---

La energía de presión es:

$$E_p = \frac{p}{\rho} m \quad (9)$$

(J,SI)



La energía de presión específica será:

$$\rho_p = \frac{p}{\rho}$$
$$\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}, \text{ SI}$$

(10)

### Energía cinética

La energía cinética total de  $m$  kg de fluido es :

$$E_v = m \frac{v^2}{2}$$

(J, SI)

donde  $m$  es la masa total del fluido.

La energía cinética específica será:

$$e_v = v^2/2$$
$$(\text{m}^2/\text{s}^2, \text{ SI})$$

(11)

#### 4.2.3 ECUACION DE BERNOULLI PARA UN FLUIDO REAL

En un fluido real la viscosidad origina un

rozamiento tanto del fluido con el contorno (tubería, canal, etc.) como de las partículas del fluido entre sí. Entonces la ecuación de Bernoulli (ec. 5) no se cumple. Naturalmente se sigue cumpliendo el principio de la conservación de la energía o primer principio de la Termodinámica. Es decir, además de las tres clases de energía enumeradas y estudiadas en la sección anterior aparece la energía de fricción que provoca tan solo una variación del estado térmico del fluido. En el fluido real:

$$du \neq 0$$

(aunque si seguimos suponiendo que el fluido se comporta como incompresible  $p \, dv = 0$ ) y  $dQ \neq 0$ , con aumento de temperatura del fluido y/o del medio exterior. Esta fricción en la mecánica de los fluidos incompresibles no es aprovechable y solo en este sentido la llamaremos energía perdida, o bien expresada en forma de altura, altura perdida  $H_f$ .

Ahora bien, siguiendo el mismo razonamiento de la sección anterior, diremos que la energía en el punto 1 (o suma de la energía de posición, de presión y cinemática en el punto 1) - la energía perdida entre el punto 1 y 2 por rozamiento = energía en el punto 2 (o suma de energía de posición, de presión y cinemática en el punto 2), o sea:

### ECUACION DE BERNOULLI CON PERDIDAS

$$\frac{P_1}{\rho} + z_1 g + \frac{V_1^2}{2} - \sum_{r1-2} y_{r1-2} = \frac{P_2}{\rho} + z_2 g + \frac{V_2^2}{2}$$

(fluido real -viscoso pero incompresible-  $v_1$   $v_2$  velocidades medias en las secciones 1 y 2)

o bien expresada en alturas:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - \sum H_{r1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (12)$$

(fluido real -viscoso pero incompresible-  $v_1$   $v_2$  velocidades medias en las secciones 1 y 2)

donde  $P_1/\rho g, P_2/\rho g$  — altura de presión

$z_1, z_2$  — alturas geodésicas

$V_1^2/2g, V_2^2/2g$  — alturas de velocidades

$\sum H_{r1-2}$  — suma de todas las pérdidas  
hidráulicas entre 1 y 2

#### 4.2.4 ECUACION DE BERNOULLI PARA UN GAS INCOMPRESIBLE

Si multiplicamos los dos miembros de la ecuación (12) por  $\rho g$  tendremos:

$$P_1 + \rho g z_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} - \rho g H_{r1-2} = P_2 + \rho g z_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} \quad (13)$$

Los términos de esta ecuación tienen ahora las dimensiones de una presión. En un gas la variación de presión geodésica (o equivalente en presión de la energía de posición)  $\rho g(z_1 - z_2)$  suele ser despreciable en comparación con los términos de la ecuación (13).

#### Ejemplo

En un flujo de aire en una tubería supongamos  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  y un desnivel geodésico de  $z_1 - z_2 = 5 \text{ m}$ . Tendremos:

$$\rho g(z_1 - z_2) = 1,2 \times 9,81 \times 5 = 59 \text{ Pa}$$

presión muy pequeña. No obstante, si las restantes presiones que figuran en la ecuación (13) fuesen del mismo orden, o si  $z_1 - z_2$  fuese aún mucho mayor que 5 m habría que tener en cuenta este término. Pero en general se podrá despreciar.

Haciendo  $\rho g(z_1 - z_2) \cong 0$ , y llamando  $\rho g H_{r1-2} = \Delta P_{r1-2}$  -presión perdida entre 1 y 2, tendremos la ecuación de Bernoulli para gases.

#### ECUACION DE EULER PARA GASES

$$P_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} - \Delta P_{r1-2} = P_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} \quad (14)$$

(gas viscoso e incompresible)

donde  $P_1, P_2$  — presiones estáticas en los puntos 1 y 2,  
Pa, SI.

$\frac{\rho V_1^2}{2}, \frac{\rho V_2^2}{2}$  — presiones dinámicas en los puntos 1 y 2,  
Pa, SI.

$\Delta P_{r1-2}$  — presión perdida por rozamiento entre 1 y 2,  
Pa, SI.

$P_t + \frac{\rho V_1^2}{2} = P_t$  — presión total en el punto 1, Pa, SI.

#### 4.3 MEDICION DE VELOCIDAD

##### 3.3.1 MEDIDORES LOCALES DE VELOCIDAD

Casi todos los problemas prácticos con fluidos en Ingeniería están relacionados con una medida precisa del flujo. Para obtener la velocidad media de una región muy pequeña, o puntual nos apoyamos en los siguientes principios:

1. Trayectoria de partículas de flotabilidad neutra o flotantes.
2. Dispositivos mecánicos giratorios
  - a) Anemómetro de copas
  - b) Rotor de Savonius
  - c) Molinete

- d) Medidor de turbina
- 3. Tubo pitot
- 4. Medidor electromagnético
- 5. Hilos y placas calientes
- 6. Anemómetro de láser por efecto Doppler.

En la medición de flujo de gases, el tubo pitot es de amplio uso debido a su manejo relativamente sencillo.

#### 4.3.2 TUBO PITOT

Este dispositivo no mide la velocidad directamente, pero permite obtener una magnitud relacionada con la velocidad con bastante precisión.

El tubo pitot sirve para medir la presión de estancamiento, llamada muchas veces presión total. Esta se compone de dos partes : presión estática y presión dinámica.

Por encima de  $Re_d > 1000$ , el tubo pitot se comporta auténticamente como si el fluido no tuviese viscosidad, y en el caso de la velocidad puede obtenerse de la diferencia de presión estática y de la presión total.

La figura (4.3) es un esquema del tubo ideado por Pitot para medir la presión total. En la figura se han esquematizado también las líneas de corriente. justo en la embocadura del tubo, punto 1, se forma un punto de estancamiento ó remanso, es decir, la velocidad allí se

reduce a cero.



fig. (4.8) TUBO PITOT

#### 4.3.3 MEDICION DE PRESION ESTATICA , TOTAL Y DINAMICA EN LOS DUCTOS

##### Presión Estática.

La presión estática es el promedio de las componentes normales del esfuerzo ejercido sobre tres superficies, mutuamente perpendiculares, que se mueven con el fluido.

En los ductos en los que se conoce con regular precisión la dirección del flujo, el dispositivo ideal para medir la presión estática es el tubo de pitot estatico, fig (4.5).

Este tubo consiste sencillamente en un pequeño cilindro lizo con el extremo de corriente arriba redondeado o

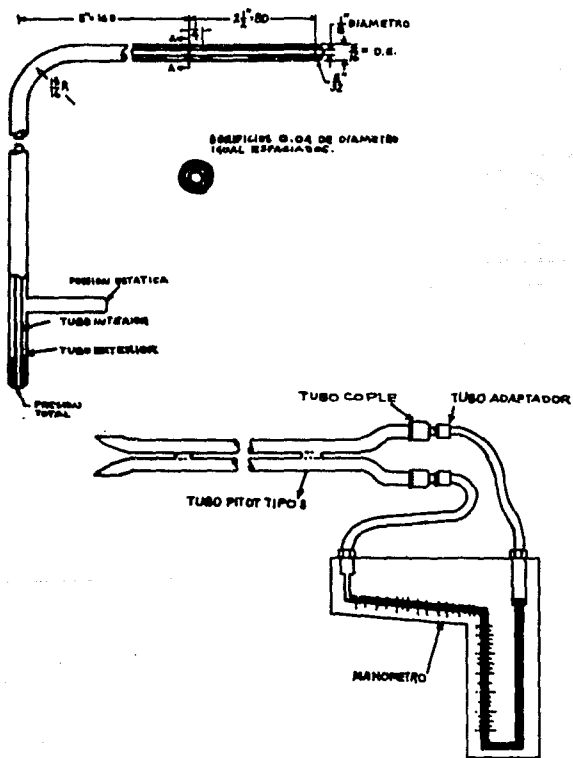


Fig. (4.4) DIMENSIONES DEL TUBO PITOT Y TUBO PITOT TIPO "S" CONECTADO AL MANOMETRO DIFERENCIAL INCLINADO.



aguzado; en los lados del cilindro existen agujeros para piezómetro o una ranura circunferencial, a través de los cuales se transmite la presión al manómetro o al transductor.

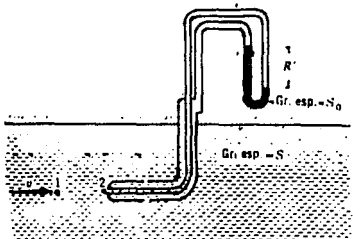


Fig. (4.5) TUBO DE PITOT ESTÁTICO.

La presión total como ya se dijo anteriormente, se mide con el tubo pitot, solo hay que notar que esta presión es puntual, y que por consiguiente, esta velocidad será puntual. Por lo tanto, se deberán tomar una serie de mediciones en forma organizada y así obtener una velocidad promedio real, como se verá más adelante.

#### Presión dinámica

Es la presión que tendría un fluido en movimiento si se inmovilizara, por flujo isentropico contra un gradiente de presión.

La presión dinámica se puede obtener por dos métodos:

- 1) Realizando la medición de presión total y presión estática y obtener sus diferencia.
- 2) Por medio de un instrumento ideado por Prandtl, el cual incluye en un solo instrumento un tubo de pitot y un tubo piezométrico.

El tubo Prandtl fig. (4.6) mide la diferencia de presión total y estática generalmente por medio de un manómetro y así de esta manera obtenemos directamente la presión dinámica.

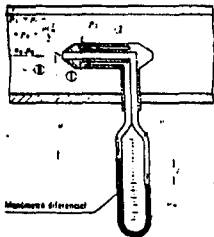


Fig. (4.6) TUBO DE PRANDTL.

Para obtener la velocidad del gas, en una chimenea, se usan comunmente, el tubo pitot combinado con el tubo piezométrico segun Prandt. Comercialmente son utilizados los siguientes tipos:

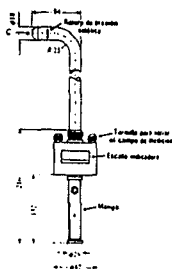


fig. (4.7) TUBO PRANDT CON MANOMETRO INCORPORADO.

Su empleo no es indiferente ya que depende de las condiciones físicas de la chimenea, así como del tamaño de partículas, rango de velocidad del fluido, turbulencia y demás condiciones. Además cada tubo de pitot tiene un coeficiente de corrección determinado  $C$ , el cual puede ser calculado experimentalmente en el tunel de viento cuando el tubo ya ha sido usado varias veces, aunque generalmente, sea proporcionado por el fabricante.

#### 4.3.4 OBTENCIÓN DE LA VELOCIDAD DE GASES EN DUCTOS

Partiendo de las presiones dinámicas medidas por

la lectura del tubo Pitot, considerando la ecuación de Bernoulli para gases de la secc. 4.2.4 para un punto, tenemos:

$$P_t + \rho \frac{V_1^2}{2} = P_t - \text{presión total}$$

donde:

$P_t$  = presión manométrica total, [Pa].

$P_s$  = presión estática en el ducto, [Pa].

$V_1$  = velocidad, [m/s].

$\rho$  = densidad del gas en el ducto, [Kg/m<sup>3</sup>].

$$\rho \frac{V_1^2}{2} = P_d, \text{ presión dinámica, [Pa].}$$

por lo que: 
$$P_d = P_t - P_s = \rho \frac{V_1^2}{2}$$

despejando  $V_1$  se tiene:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 P_d}{\rho}}$$

introduciendo el coeficiente de calibración del tubo pitot  $C^*$ , considerando la presión dinámica media y la densidad normal\*\* se tiene:

$$V_1 = C \sqrt{\frac{2 P_d}{\rho_n}}$$

\* Se determina experimentalmente.

$$\text{como } \rho_n = \rho_r \frac{P_n T}{P T_n}$$

donde:

$\rho_n$  = densidad normal, [Kg/m<sup>3</sup>].

$\rho_r$  = densidad real del gas, [Kg/m<sup>3</sup>].

P = presión absoluta en el ducto, [Pa].

$P_n$  = presión normal, [Pa].

T = temperatura absoluta media del gas, [°K].

$T_n$  = temperatura atmosférica normal, [°K].

sustituyendo los valores conocidos

de  $T_n = 298$  °K.

$P_n = 101\ 325$  Pa.

se tiene:

$$V = 0.077 C \sqrt{\frac{P_d P}{\delta_r T}}$$

cuando la densidad del gas es igual a la del aire; es decir,  $\delta_r = \delta_n = 1.89$  kg/m<sup>3</sup>, sustituyendo la ecuación anterior quedará como sigue:

$$V = 0.077 C \sqrt{\frac{P_d P}{T}}$$

\*\*Se utiliza la densidad normal debido a que las N.T.E., (Normas Técnicas Ecológicas) se encuentran referidas a condiciones estándar de presión y temperatura, de 1Atm. y 298°K respectivamente.

Cuando no se conoce el coeficiente de un tubo de Pitot se mide la presión dinámica en algún punto de la corriente del gas en movimiento con el tubo de Pitot cuyo coeficiente vá a determinarse y con un tubo de Pitot con coeficiente conocido. La velocidad de flujo de la corriente de gas debe estar dentro de los límites de trabajo normales.

$$C = C_n \sqrt{\frac{P_{d_n}}{P_d}}$$

donde:

C = coeficiente de tubo Pitot a determinar.

$C_n$  = coeficiente de tubo Pitot conocido.

$P_{d_n}$  = Presión dinámica medida por el tubo de Pitot de coeficiente conocido.

$P_d$  = Presión dinámica medida por el tubo de Pitot a verificar.

Para los tubos de Pitot tipo "S", deben compararse los coeficientes primero con una boca apuntando en la dirección del flujo y luego invirtiendo la posición.

Se usa el tubo de Pitot solamente si los dos coeficientes difieren en no más de 0.01.

## **CAPITULO CINCO**

## **DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS (MUESTREO ISOCINETICO)**

## 5.1 PLANEACION DEL MUESTREO

### 5.1.1 ESTUDIO DEL PROCESO Y DEL EQUIPO GENERADOR DE EMISIONES

El examen o monitoreo de contaminantes atmosféricos requiere una planeación muy extensa que va desde el amplio conocimiento del equipo generador hasta contemplar en forma global el proceso industrial, así como la preparación y calibración de todos los instrumentos de medición, preparación de los puertos de muestreo, la revisión de todas las medidas de seguridad, toma de muestras, etc.; todo esto con el fin de determinar la cantidad real de contaminantes emitidos en dicho proceso.

Un conocimiento preliminar del proceso que produce la emisión gaseosa cargada de cenizas es requerido para planear la colección de la muestra. Consecuentemente el muestreo no debe de ser separado del proceso, es decir, el muestro debe relacionarse con el flujo de gases, consumo de combustible, temperaturas y presiones de operación, etc., durante el análisis.

Es de vital importancia cuidar que las variables involucradas sean precisas para poder determinar si los equipos emisores se encuentran dentro o fuera de los límites permisibles de acuerdo al reglamento para la prevención y control de la contaminación atmosférica originada por la emisión de humos y polvos. Lo cual nos



permitira efectuar estudios preliminares, de Ingenieria, de evaluaciones económicas, de evaluaciones de eficiencia de los equipos emisores y equipos de control, determinación de factores de emisión, conocimiento del tipo y consumo de combustible, etc.

El estudio del proceso incluye en primer lugar considerar si el proceso es estable dentro de las variaciones normales, o si es ciclico con una iniciación y terminación predecibles. Si el proceso es estable deben mantenerse sus condiciones de operación en un nivel determinado durante un tiempo suficiente, para con ello permitir varios muestreos de duración satisfactoria. Si el proceso es ciclico debe decidirse si se muestrea un ciclo completo, o si este es suficientemente largo, para poder dividirse en etapas definidas. Frecuentemente es preferible muestrear un ciclo por etapas, ya que el promedio obtenido de esta manera es frecuentemente más representativo que el promedio de muestreos durante el ciclo total.

Si un ciclo es corto, es conveniente muestrear durante varios ciclos para obtener una muestra de peso suficiente para disminuir el margen de error.

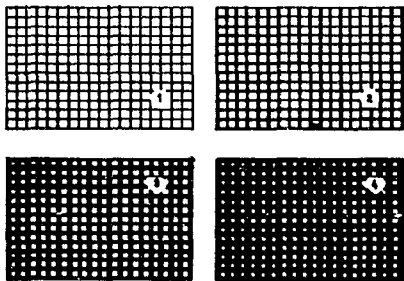
En los procesos con régimen de emisión variable el muestreo debe hacerse de tal manera que resulte representativo del proceso que se desea analizar.

### 5.1.2 PRUEBAS PRELIMINARES

Una vez realizado el estudio del proceso industrial, el equipo generador de emisiones, así como el conocimiento del consumo de combustible utilizado, su consumo, etc., y en conjunto con la experiencia adquirida, se podrá esperar o predecir los tipos de contaminantes, su cantidad y calidad emitidas através de la chimenea.

Otras pruebas preliminares que son útiles para indicar y dar idea del grado de contaminación atmosférica, (debida a residuos no quemados sólidos) que se efectúan de manera sencilla y rápida antes de un muestreo de partículas y/o gases son la llamada escala de Ringelmann y la escala Bacharach. La primera consta de seis patrones de comparación que van desde el blanco total al negro absoluto.

En términos cuantitativos puede interpretarse que el primer patron corresponde con una densidad de humo del 0% aumentando de 20 en 20 unidades hasta llegar a un máximo del 100% para el número 5. El color de la emisión de humo se compara con los papeles sombreados de forma creciente mediante un retículo (ver fig. 5.1). Se recomienda que las medidas se efectúen en buenas condiciones de luz natural, con los papeles fijos en un plano vertical delante del observador. Cuando sea posible, el papel debe alinearse con



Nº	Color	Nº de señala negra.
1	gris claro	25
2	gris oscuro	40
3	gris muy oscuro	60
4	negro	80

figura (5. 1) PATRONES DE COMPARACION DE LA CARTA RINGELMANN.

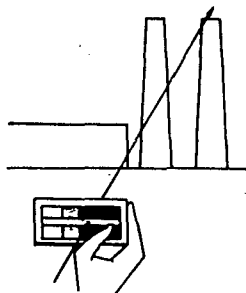


figura (5. 2) UTILIZACION DE LA CARTA RINGELMANN.

la parte más alta de la chimenea, de modo que el papel y humo tengan el mismo fondo de cielo. El papel debe estar suficientemente alejado del observador para que los retículos de cada rectángulo aparezcan como una sombra uniforme. (fig. 5.2). Según muchos observadores, la distancia más conveniente que permite las mejores observaciones, es de quince metros el tamaño de cada papel es de 15 x 22 cm., aproximadamente. La medida de la intensidad es de manera directa y repetida, además no necesita preparativos especiales.

Esta medida es aproximada y en cierto modo también subjetiva; sin embargo, da una idea del grado de humos y, por lo tanto, del efecto de combustión en una evacuación gaseosa, de manera repetida y directa.

Los resultados de las medidas se promedian de manera que al final se obtiene un resultado expresado en unidades Ringelmann o en porcentaje.

Las reglamentaciones internacionales suelen aceptar como funcionamiento correcto hasta un valor máximo de dos unidades Ringelmann que equivale a una densidad de humo de 40%.

Para controlar la combustión desde el punto de

vista del contenido de carbono libre en los humos, esta muy difundido el sistema Bacharach, mediante el cual, a través de una toma existente en la chimenea, se aspira, con un dispositivo especial (constituido esencialmente por una bomba) un determinado volumen de humos, que pasan a través de un papel filtro especial colocado transversalmente. En el papel se forma una mancha circular cuyo color (desde negro hasta blanco pasando por varios tonos de gris) está relacionado con el contenido de hollín contenida en los humos; ver figura (5.9). Posteriormente el color del depósito se compara con una serie de discos grises de intensidad de color creciente (la escala Bacharach está constituida por diez patrones numerados del 0 al 9 que van del blanco al negro pasando por varios tonos de gris.

Una combustión es buena, desde el punto de vista de la contaminación, cuando el índice de humos, hallado con el método antes descrito, no supera el valor de 4 ó 5 de la escala Bacharach.

Para determinarlo de un modo rutinario, se ha construido un aparato automático, que aspira los humos continuamente y da una serie de disquitos en una tira de papel (aproximadamente uno cada veinte segundos) lo cual permite controlar, a lo largo del tiempo, como se desarrolla la combustión en una planta.

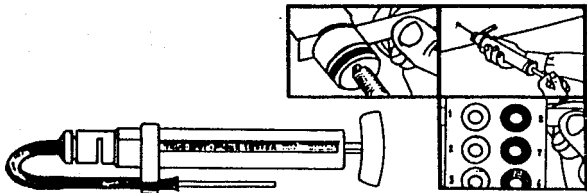


Figura (5.3) MEDIDOR DE HUMOS BACHARACH.

### 5.1.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD

La realización de un muestreo isocinetico y/o de gases requiere una revisión y obtención de todas las medidas de seguridad y esto se debe a lo siguiente:

1) La altura de los puertos de muestreo.

Como se verá en las secciones siguientes, las normas establecen que los puertos de muestreo deben localizarse a una cierta altura. Esta altura depende principalmente de la altura del ducto, la turbulencia del gas dentro del ducto, y a las perturbaciones en el flujo del gas debido principalmente a reducciones o ampliaciones en el diámetro del ducto así como valvulas, codos, etc.

En la práctica encontramos que los puertos de muestreo se llegaron a localizar hasta 15 metros de altura sobre el nivel del piso. Por lo descrito anteriormente, fue

necesario el uso de plataformas tubulares, escaleras, cuerdas, mandriles, ganchos, etc. Y todo aquel equipo que permita realizar el muestreo con toda seguridad.

## 2) La temperatura de los gases.

La temperatura de los gases varía según el equipo que genera la fuente emisora; por ejemplo, la temperatura de los gases de escape para calderas oscila entre 200 y 350°C dependiendo del tipo de caldera. Mientras las temperaturas en hornos para tratamientos térmicos, oscilan entre 400 y 600°C.

En cualquiera de los dos casos anteriores, nunca se debe estar en contacto con la pared de la chimenea sin la protección de guantes aislantes térmicos, pecheras y demás equipos de protección contra altas temperaturas.

Una medida de seguridad muy importante es que nunca se debe abrir un puerto de muestreo estando parado junto a él, ya que en algunas ocasiones, principalmente en hornos, los gases son expulsados de éste con presión y alta temperatura, lo que podría generar un accidente.

En general, el sitio de muestreo debe reunir condiciones de seguridad, además de contar con elementos tales como: iluminación adecuada, plataforma y barandales de protección suficientemente resistente y de acceso seguro, protección contra descargas eléctricas, especialmente en tiempo lluvioso, y contra gases, vapores y polvo.

## 5.2 PUERTOS DE MUESTREO

### 5.2.1 CARACTERISTICAS DE LOS PUERTOS DE MUESTREO

La Norma Oficial Mexicana (NOM-AA-009-1973) establece que se deben construir los puertos de muestreo de la siguiente forma:

- Por cada ducto o chimenea deben existir dos puertos, localizados a la misma altura y a un ángulo de  $90^\circ$  entre ellos.

Los puertos de muestreo por norma deben tener un diámetro de 3 pulgadas, soldados al ducto de la chimenea, con cuerda exterior estandar y con una longitud total de 15 centímetros a partir de la pared del ducto, como se ilustra en la siguiente figura (5.4).

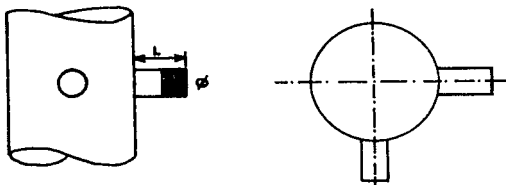


figura (5.4) UBICACION DE LOS PUERTOS DE MUESTREO.

El puerto de muestreo debe ubicarse en el lugar donde el flujo de gases dentro de la chimenea sea lo más laminar posible. Para ello la Norma establece una distancia mínima de 8 veces el diámetro del ducto si es circular y del



diámetro equivalente si no lo es, desde la última perturbación del gas, es decir, codos, restricciones, ampliaciones, valvulas, etc, hasta el puerto de muestreo. La figura (5.5), lo ilustra.

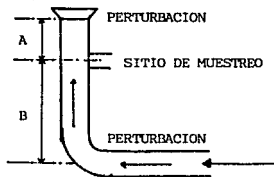


figura (5.5) DISTANCIA DE LOS PUERTOS DE MUESTREO A PARTIR DE LA ÚLTIMA RESTRICCIÓN O CAMBIO DE DIRECCIÓN.

### 5.2.2 DETERMINACION DEL NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE PRUEBA Y SU DISTRIBUCION.

Para la determinación del del número mínimo de puntos a muestrear en la sección transversal del ducto se utilizará la siguiente gráfica de la figura (5.6).

La cual puede ser leída de la siguiente manera:

- De acuerdo a la constitución física de la chimenea veremos si es posible la instalación de los puertos de muestreo a 8 diámetros desde la última perturbación en el sentido del flujo y a dos diámetros desde la última perturbación en contrasentido del flujo (con la finalidad de evitar el fenómeno de la vena contracta). Siendo seis el

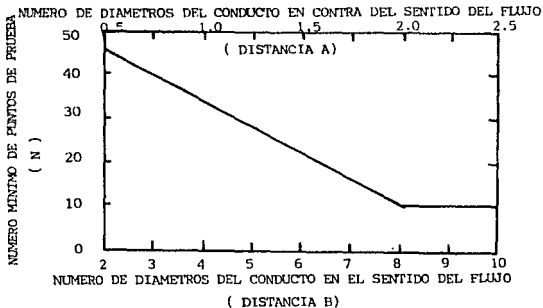


Figura (3.6) GRAFICA PARA DETERMINAR EL NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE PRUEBA.

número de puntos muestreados por cada eje transversal.

En caso contrario a lo anterior, se debe buscar el lugar más apropiado para ubicar el puerto de muestreo siguiendo las normas establecidas, utilizando la gráfica anterior. Por ejemplo, si una chimenea tiene una longitud total sin perturbaciones de 6 metros y el diámetro del ducto es 0.9 metros, el número de diámetros obtenidos serán 5.66 diámetros. Si observamos detenidamente la gráfica es fácil ver, que a una distancia de 4.5 diámetros en el sentido del flujo nos corresponde una distancia en contrasentido del

flujo de 1.12 diámetros que adicionados a los 4.5 diámetros, nos da una longitud total de 5.62 diámetros que corresponden aproximadamente a la longitud total de la chimenea.

Por otro lado, de la intersección de una línea vertical a partir del número de diámetros obtenidos (4.5 diámetros en sentido del flujo) y la línea propia de la gráfica, nos dará siguiendo una línea horizontal al extremo izquierdo de la gráfica, el número de puntos transversales a evaluar en la sección transversal de la chimenea, que en este ejemplo, corresponden 32 puntos, es decir, 16 puntos por cada eje.

Para la distribución del número mínimo de puntos a muestrear se usará la tabla de valores de la figura (5.7).

En donde los valores dados en cada columna representan las fracciones de diámetro de chimenea de la pared interna al punto a ser muestreado, fig. (5.8). Además que para un número de puntos a muestrear le correspondera la columna indicada.

		NUMERO DE PUNTOS SOBRE UN EJE TRANSVERSAL																						
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24											
NUMERO DE PUNTOS TRANSVERSALES	1	14.6	6.7	4.4	3.3	2.5	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1											
	2	86.4	29.0	14.7	10.5	8.2	6.7	5.7	4.9	4.4	3.9	3.5	3.2											
	3		75.0	29.5	19.4	14.6	11.8	9.9	8.5	7.5	6.7	6.0	5.5											
	4			93.3	70.5	32.3	22.6	17.7	14.6	12.5	10.9	9.7	8.7	7.9										
	5				85.3	67.7	34.2	25.0	20.1	16.9	14.6	12.9	11.4	10.5										
	6					95.6	80.6	65.8	35.5	26.9	22.0	18.8	16.5	14.6	13.2									
	7						89.5	77.4	64.5	36.6	28.3	23.6	20.4	18.0	16.1									
	8							96.7	86.4	75.0	63.4	37.5	29.6	25.0	21.8	19.4								
	9								91.8	82.3	73.1	62.8	38.2	30.6	26.1	23.0								
	10									97.5	88.2	79.9	71.7	61.8	38.8	31.5	27.2							
	11										93.3	85.4	78.0	70.4	61.2	39.3	32.3							
	12											97.8	90.1	83.1	76.4	69.4	60.7	39.8						
	13												94.3	87.5	81.2	76.0	68.8	60.2						
	14													98.2	91.5	85.4	79.6	73.8	67.7					
	15														95.1	89.1	83.5	78.2	72.8					
	16															98.4	92.5	87.1	82.0	77.0				
	17																95.6	90.3	85.4	80.6				
	18																	98.6	93.3	88.4	83.9			
	19																		96.1	91.3	86.8			
	20																			98.7	94.0	89.5		
	21																				96.5	92.1		
	22																					98.9	94.5	
	23																						96.8	92.4
	24																							98.9

figura (5.7) FACTORES DE LONGITUD.

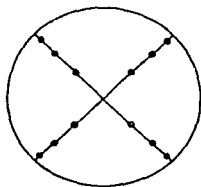


figura (5.8) DISTRIBUCION DE LOS PUNTOS A MUESTREAR (12 PUNTOS).

### 5.3 MUESTREO ISOCINETICO

#### 5.3.1 PRINCIPIO DE ISOCINETICIDAD

Este principio se refiere a la obtención o igualación de la velocidad de un flujo en un ducto y la velocidad con que esté flujo entra a otro ducto para la toma de muestra, en otras palabras, para hacer cumplir este principio se requiere que la velocidad del flujo en el ducto sea la misma con la que el mismo flujo entra a otro ducto más pequeño (boquilla), las siguientes figuras ilustran lo anterior, fig. (5.9).

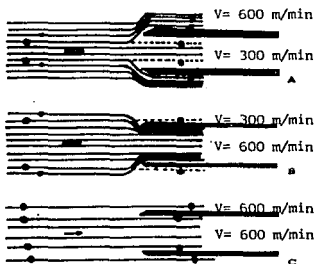


Figura (5.9) CASOS A, B y C.

En el caso (A), la velocidad en el ducto es mayor que en

la boquilla, esto provoca, que las líneas de corriente de flujo frente a la boquilla se desvien y por lo tanto la captación de partículas disminuirá.

En la figura (B), la velocidad de flujo en el ducto es menor que la velocidad en la boquilla, lo cual ocasiona que más líneas de corriente entren a la boquilla recolectando una cantidad mayor de partículas (efecto de succión).

En el último caso (C), la velocidad de flujo en el ducto y en la boquilla es la misma. En estas condiciones entran a la boquilla solo las líneas de corriente que están frente a ella, provocando con esto una captación de partículas bajo el principio de isocineticidad.

### 5.3.2 DETERMINACION DE VELOCIDAD EN EL DUCTO

El equipo ~~utilizado~~ para este efecto es el tubo de pitot (tipo S) y el manómetro diferencial.

La velocidad en cada punto en del ducto se determina a partir de la presión dinámica leída en el manómetro diferencial y mediante la siguiente ecuación definida en el capítulo tres:

$$V = 0.077 C \sqrt{\frac{P_d - P}{\rho T}}$$

El procedimiento para obtener la presión dinámica en cada corrida, se puede resumir de la siguiente manera:

Las condiciones de operación deben mantenerse los más estables posibles durante las mediciones. En caso de condiciones inestables, se recomienda tomar un número mayor de lecturas.

Deben tomarse lecturas del termómetro antes y después de cada corrida y usar el valor de la temperatura media para los cálculos.

Se nivela el manómetro, se calibra a cero antes de que se conecte al tubo pitot, enseguida se efectúa la conexión entre los dos elementos verificando que la escala del manómetro diferencial marque cero, en caso contrario se repite el procedimiento de calibración.

Una de las dificultades que generalmente se presentan es el lograr una buena ubicación para la colocación del manómetro diferencial en el cual se encuentre libre de vibraciones que pudieran interferir con la correcta lectura de las mediciones.

A continuación se introduce el tubo pitot en el ducto en el punto deseado, cuidando tener el tubo pitot en la posición correcta, además que los puntos donde se medirá la presión de flujo deben ser marcados con anterioridad en la longitud del tubo pitot para una ubicación más rápida de los mismos.

Para cada punto de prueba se anota la lectura del manómetro cuya lectura diferencial da la medida de la presión dinámica en ese punto.

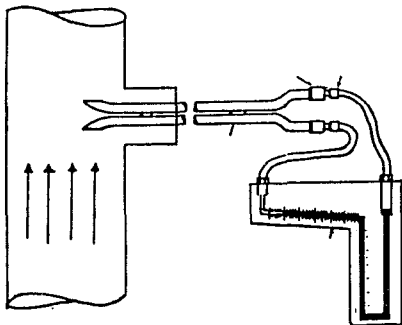


figura (5.10) ARREGLO DE LA CONEXION DEL MANOMETRO DIFERENCIAL Y EL TUBO PITOT DENTRO DE LA CHIMENEA.

Paralelamente a lo anteriormente descrito, se debe llenar una forma con todos los datos necesarios para la identificación de la fuente emisora, además de las lecturas obtenidas en los puntos correspondientes.

### 5.3.3 TREN DE MUESTREO

La Norma Oficial Mexicana (NOM-10-1974) establece que para la determinación de la emisión de partículas, se puede utilizar cualquier tren de muestreo según las alternativas del siguiente diagrama, fig. (5.11):



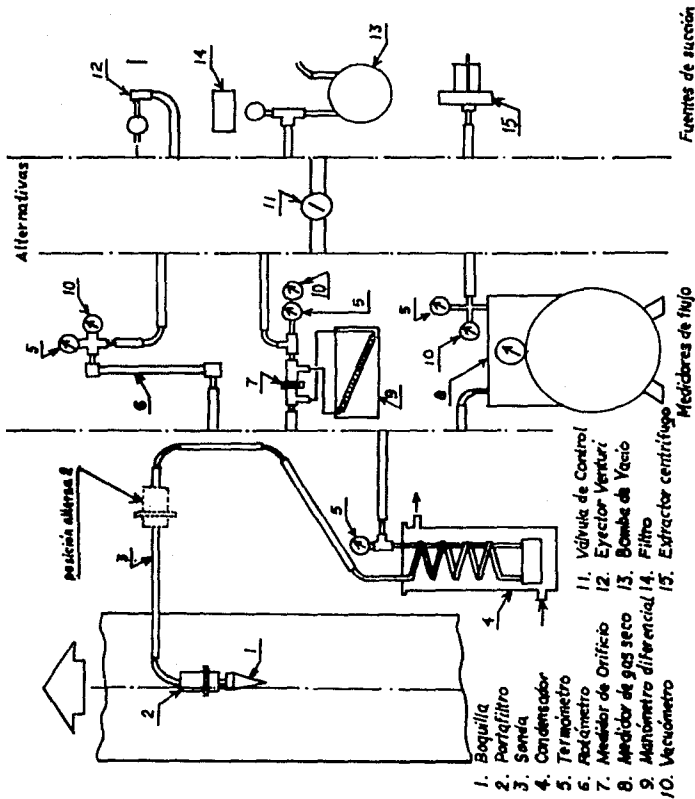


Figura (5.11) ALTERNATIVAS PARA LA INTEGRACION DE TRENES DE MUESTREO.

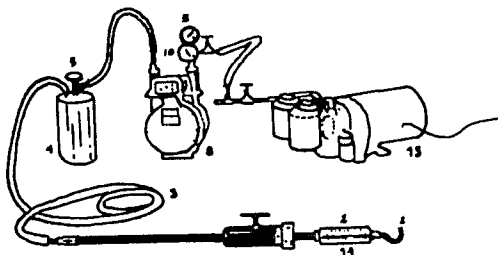
#### 5.3.4 CAPTACION DE PARTICULAS POR MEDIO FILTRANTE

En el desarrollo del muestreo isocinetico pueden utilizarse como medios filtrantes cualquiera de los siguientes elementos como son membranas filtrantes, cartuchos filtrantes, bolsas de tela filtrante entre otros, siempre y cuando se retengan por lo menos el 95% del peso de las partículas en el gas muestreado. Y para este caso en particular se utilizo un cartucho filtrante de aludum debido a las altas temperaturas de los gases, a que no existen gotas de agua en el flujo y a la economia del en el costo de dicho filtro.

#### 5.3.5 MONTAJE DEL TREN DE MUESTREO

En la elaboración del presente trabajo, se utilizó el un tren de muestreo formado por: boquilla, porta filtro, sonda, condensador, termómetros, medidores de presión, medidor de gas seco, vacuómetro, bomba de vacío. El cual se ilustra en la figura (5.12).

Una vez que se ha seleccionado la boquilla y el medio filtrante se procede a montar el tren de muestreo de acuerdo a lo redactado en los puntos anteriores. Deben sellarse todas las juntas de union con un material apropiado. evitando que el sellador contamine el filtro.



- |                 |                |                    |
|-----------------|----------------|--------------------|
| 1) boquilla     | 4) condensador | 10) vacuometro     |
| 2) porta filtro | 5) termometro  | 13) bomba de vacio |
| 6) sonda        | 7) medidor de  | 14) filtro         |
|                 | gas seco       |                    |

figura (5.12) TREN DE MUESTREO UTILIZADO

Se marca el extremo exterior de la sonda a efecto de indicar la direcci3n de la punta de la boquilla. Se comprueba la ausencia de fugas en el tren de muestreo, tapando de alguna manera la boquilla (sin contaminar el filtro), y se pone en marcha la fuente de succi3n, con la v3lvula de succi3n cerrada. Se abre la v3lvula de control hasta que el vacuometro seÑale su lectura m3xima y permanezca estable. Si no hay fugas, la aguja del medidor de gasto no debe avanzar. La succi3n en el medidor debe permanecer constante, a3n despues de que la v3lvula de control se cierre herm3ticamente. Si hay fugas, deben

localizarse y eliminarse.

### 5.3.6 TOMA DE MUESTRA

Después de que se han calculado los flujos de muestreo, y se han montado y comprobado la ausencia de fugas en el tren de muestreo, se procede a ejecutar la prueba.

Se cierra la válvula de control del medidor y se inserta el muestreador en el conducto para muestrear el primer punto de prueba, con la boquilla apuntando en el sentido del flujo, y se sella el espacio comprendido entre la sonda y el registro. Cuando se muestrean gases muy calientes, se empieza por el punto transversal más alejado del registro y se mueve el muestreador hacia afuera conforme se avanza en la prueba. Cuando se trabaja cerca de la prueba de rocío de los gases, deben calentarse todos los elementos del tren de muestreo de la boquilla al portafiltro.

Al empezar la prueba, se coloca el muestreador con la boquilla orientada en sentido contrario al flujo, e inmediatamente se arranca la fuente de succión, se abre la válvula de control hasta obtener el flujo de muestreo calculado y se pone a funcionar el cronómetro. Se anota la hora y se registra en la hoja de datos del muestreo junto con los datos iniciales de la prueba. Por lo menos cada 5 minutos durante la prueba, deben registrarse el volumen, la

presión y la temperatura del medidor, así como la temperatura del condensador.

Una vez que se haya completado el muestreo en un punto, se mueve el muestreador rápidamente al siguiente y se ajusta la succión hasta obtener el flujo muestreado para ese punto, tan rápidamente como sea posible. Se repite este procedimiento en cada punto hasta terminar la corrida.

Se cierra la válvula de control, se detiene el cronómetro y se pasa el muestreador al siguiente registro repitiéndose el procedimiento descrito.

Al completarse la prueba, se cierra la válvula de control, se detiene la fuente de succión, asegurándose de mantener el muestreador con la boquilla hacia arriba para evitar pérdida de muestra y al mismo tiempo que no recoja polvo de la parte interior del registro.

Antes de extraer el filtro con la muestra, se limpia con cepillo la parte exterior del muestreador y el portafiltro, el material adherido en su interior debe hacerse llegar hasta el filtro. Se transfiere el filtro con la muestra a un recipiente adecuado. De ser posible, se realiza este procedimiento en el laboratorio.

Se drenan los condensadores del tren de muestreo y se mide el volumen de condensados en una probeta graduada y se anota en la hoja de datos.

Se pesa el filtro con la muestra con una aproximación de 0.0001 g después de secarse a 100°C durante una hora.

## **CAPITULO SEIS**

## **DETERMINACION DE LA CONCENTRACION Y EMISION DE GASES**

## 6.1 COMBUSTIBLES Y PROCESO IDEAL DE LA COMBUSTION

### 6.1.1 ASPECTOS BASICOS

Para el Ingeniero es de gran importancia el estudio de la combustión de hidrocarburos tradicionales (llamados combustibles fósiles). ya que este proceso se utiliza en más del 90% en multitud de aparatos térmicos, empleados para generar energía útil en los diferentes procesos industriales instalados en el territorio nacional y demás países.

En nuestra época, un operador que conoce los combustibles y los sabe utilizar con eficiencia es un empleado muy valioso en cualquier empresa. Nunca desde la revolución Industrial han sido tan caros los combustibles. Puesto que la tierra tiene una cantidad finita de los mismos, y la demanda crece año con año, los precios de los combustibles fósiles solo se pueden mover hacia arriba. Por lo tanto, el obtener la última caloría del combustible (sin contaminar en gran medida la atmósfera) no tiene precio.

La combustión consiste en la reacción química de oxidación rápida, exotérmica en la cual se combina el combustible que contiene principalmente carbono e hidrógeno, con oxígeno o aire para formar dióxido de carbono ( $CO_2$ ), monóxido de carbono (CO) y agua ( $H_2O$ ). Estos óxidos, junto con el nitrógeno del aire suministrado,

forman los productos principales, liberando calor.

COMBUSTIBLE + AIRE → PRODUCTOS DE LA COMB. + CALOR  
LIBERADO

La cantidad de calor liberado en un proceso de combustión depende de la naturaleza del combustible (es decir, su composición química), y del grado de oxidación de sus constituyentes. Si el combustible se quema sólo parcialmente, se obtiene como es natural menor cantidad de calor. Por medio del análisis de la combustión y sus procesos, los técnicos, ayudados por la experiencia, son capaces de controlar la mayoría de los procesos que se encuentran en la práctica, y pueden alcanzar lo que podemos llamar "condiciones óptimas".

El calor liberado de un proceso de combustión no es necesariamente disponible totalmente para ser transferido al fluido agente.

El combustible se debe volver gas antes de que pueda arder, pues nada arde en realidad salvo que sea un gas, o hasta que lo sea. Y antes de que pueda arder, debe existir una mezcla de gas y aire que se inflame y eleve la temperatura de la mezcla hasta la inflamación o ignición.

Cada elemento o compuesto necesita una cierta cantidad de oxígeno para la combustión completa. Es fácil calcular la cantidad exacta, si se mezcla la cantidad correcta, se tiene una mezcla perfecta o teórica (relación aire-combus-



tible), aunque no es posible suministrar solamente la cantidad teórica correcta de oxígeno a un proceso y oxidar la totalidad de la materia combustible. En algunos casos debe suministrarse gran exceso de aire para lograr quemar una gran proporción de combustible y puede ocurrir que gran parte del calor liberado en el proceso sea tirado por los productos de la combustión. La ganancia en calor liberado se ve contrarrestado por la pérdida de calor en los productos. Además, el método de control de un proceso de combustión, puede ser muy distinto del empleado en otro también de combustión.

#### 6.1.2 COMPONENTES DE LA COMBUSTION

Existen tres diferentes componentes en un sistema de combustión, necesarios para que esto ocurra:

1. **Combustibles:** consistiendo en una combinación de carbono e hidrógeno y en condiciones indeseables azufre, o bien materiales combustibles orgánicos con la composición genérica de Carbono-Hidrógeno-Nitrógeno-Azufre (CHONS), durante la combustión estos son oxidados y su energía química potencial es transformada en térmica y en ocasiones en mecánica.

2. **Oxidantes:** en terminos generales un oxidante es una especie química que reacciona con el combustible para liberar energía, el oxidante más común es el oxígeno del

aire.

3. Diluyentes: un diluyente es una sustancia que puede estar presente en la combustión sin participar químicamente en ella como combustible u oxidante, pero que sin embargo participa en los aspectos físicos de proceso de combustión, un diluyente puede tener capacidad calorífica actuando como un sumidero de energía, limitando consecuentemente la temperatura alcanzada en el sistema, el diluyente más importante es el nitrógeno, sin embargo pueden estar presentes también: vapor de agua, gases inertes, cenizas incombustibles, aire en exceso, así como material combustible que no actúe en la reacción y que en la práctica actúen como diluyentes en el sistema, alterándolo físicamente ya sea como sumidero de energía o bien modificando la distribución de la temperatura en las condiciones de equilibrio de las mezclas.

### 6.1.3 COMBUSTIBLES

Los combustibles de acuerdo a su estado físico se clasifican como: gaseosos, líquidos y sólidos y su selección depende de: la complejidad del equipo requerido para almacenar, proporcionar (mover) y quemar el combustible; el calor requerido por unidad de volumen de combustible y la disponibilidad y costo del combustible en el sitio donde se llevara a cabo la combustión.

El presente trabajo hace referencia a los combustibles fosiles en estado gaseoso y liquido por ser los combustibles de mayor uso en los procesos de combustión en las industrias establecidas en el territorio nacional.

#### A. GASEOSOS.

La mayoría de los combustibles gaseosos son mezclas de hidrocarburos, siendo el más común de todos el gas natural que contiene típicamente de 75 a 95% de metano en volumen y otros constituyentes como etano, propano y butano en orden decreciente y siendo el último menor al 0.5% en volumen y como contaminantes existen pequeñas cantidades de CO<sub>2</sub>, nitrógeno, H<sub>2</sub>S y vapores orgánicos de azufre, el gas natural es incoloro e inodoro y se requiere adicionar mercaptanos en pequeñas cantidades para que tenga un olor desagradable y pueda ser percibido.

Los combustibles gaseosos presentan las dificultades menores desde el punto de vista del mezclado con el aire, dado que la reacción es homogénea y se puede distribuir uniformemente en la cámara de combustión y bajo condiciones óptimas dejan pocos depositos de producto de combustión comparado con los otros combustibles.

#### B. LIQUIDOS

Petróleo y sus subproductos comprenden prácticamente todos los combustibles líquidos comerciales, y consisten en

mezclas de 83-87% de carbón y 10-14% de hidrógeno con pequeñas cantidades de azufre, oxígeno y trazas de metales de hierro, cromo, níquel y vanadio, dependiendo sus propiedades fisicoquímicas de la forma y el número en que estén localizados los átomos de carbono e hidrógeno. Generalmente los crudos provienen de yacimientos viejos tienen más fracciones gaseosas y sólidas y menos líquidas en su composición.

Una clasificación primaria del petróleo es la siguiente:

fracción	No. de átomos de carbono por molécula
gas incondensables	C 1-C 2
gas licuado (LP)	C 3-C 4
gasolinas	C 5-C 9
kerosinas	C 10-C 14
gasoleos	C 15-C 23
lubricantes y parafinas	C 20-C 35
Combustoleo pesado	C 25-C 35
asfaltos	>C39

Por lo general el petróleo crudo tal como se extrae no sirve como energético ya que por su viscosidad y volatilidad requiere de altas temperaturas para poder ser quemado, por lo que es necesario separar las diferentes fracciones que constituyen los diferentes combustibles utilizados tales como el gasavión, la gasolina, la

turbosina, el diesel y los gasoleos ligeros y pesados. Para obtener las diferentes fracciones es necesario calentarlas, provocando así que los compuestos con menos átomos de carbono en sus moléculas y que son gaseosos se desprendan, se separen y se recuperen, posteriormente los compuestos líquidos se vaporizan y también se separan y así sucesivamente se obtienen las diferentes fracciones efectuando estas operaciones en las torres de fraccionamiento o de destilación primaria en la refinarias. Las temperaturas de destilación de cada componente de la mezcla de combustibles varía de acuerdo con su peso molecular como se observa en la siguiente tabla:

fracción	temperatura (°C)
gasoleo pesado	300
gasoleo ligero	200
kerosina	175
gasolina y gases combustibles	100

Las propiedades más importantes de los combustibles líquidos para la combustión son:

gravedad específica: se obtiene como la inversa de la densidad y se expresa en diversas unidades siendo la más utilizada los grados API, los cuales se obtienen al dividir

la gravedad específica de un compuesto con respecto a la del agua (en condiciones standar) entre 141.5 y restando 131.5 al resultado anterior. Dado que el hidrógeno tiene un valor calorífico mayor y el menor peso atómico que los otros componentes principales, las proporciones de hidrógeno y carbono afectan tanto la gravedad específica como la capacidad calorífica, por lo que la gravedad específica es un indicador muy importante para determinar el contenido de calor de un combustible líquido.

viscosidad: se puede definir como la resistencia a fluir de un líquido y se mide por el tiempo en segundos en el cual una cantidad estandarizada de petróleo tarda en fluir a través de un orificio en un aparato llamado viscosímetro, la viscosidad se puede reportar en segundos saybol universal o segundos saybol furol a diferentes temperaturas (100 °C y 122 °C respectivamente), la viscosidad indica como se comporta el combustible cuando se bombea o bien es un indicador sobre la temperatura a la cual hay que elevar el combustible para un fácil bombeo y atomización.

punto de flasheo y fluidez: representa la temperatura a la cual un combustible líquido cede suficiente cantidad de vapor para hacer una mezcla inflamable con el aire, el punto de flasheo mide la volatilidad del combustible e indica la máxima temperatura a la cual se puede manipular

con seguridad.

El punto de fluidez representa la temperatura menor a la cual el combustible puede fluir bajo condiciones estandar e indica la temperatura más baja a la cual el fluido no presentará ningun problema en su manejo.

humedad y sedimentos: estos se obtienen por centrifugación de los combustibles y se clasifican como impurezas, siendo los sedimentos residuos de sales naturales, de sustancias químicas de las operaciones de refinación, o bien materiales adicionados en su manejo y que se manifestaran como cenizas en la combustión.

La humedad y los sedimentos no deben ser mayores del 2% dado que pueden causar un rápido desgaste en los materiales refractarios, y algunos pueden ser abrasivos para las bombas, valvulas y partes de los quemadores, o bien formar recubrimientos aislantes en las paredes.

### 6.1.3 REACCION TEORICA O ESTEQUIOMETRICA

En el análisis de los procesos de combustión una consideración fundamental es la reacción teórica o estequiométrica de un combustible arbitrario. Una reacción teórica requiere la combustión completa del carbono, hidrógeno y cualesquiera otros elementos que puedan quemarse del combustible. Por ejemplo, se supone que todo el

carbono se quema para producir dióxido de carbono y que todo el hidrógeno se convierta en agua.

Consideremos, la reacción del carbono con el oxígeno.

Reactivos            Producto



Esta ecuación nos dice que un mol de carbono reacciona con un mol de oxígeno, para formar un mol de dióxido de carbono. Esto también significa que 12 kg m de carbono reacciona con 32 kg m de oxígeno para formar 44 kg m de dióxido de carbono. Las sustancias que figuran al principio del proceso de la combustión se llaman reactivos y las que resulten de dicho proceso se llaman productos.

#### 6.1.5 AIRE TEORICO

Cuando un hidrocarburo combustible se quema, ambos, el carbono y el hidrógeno, se oxidan. Consideremos la combustión del metano como ejemplo:



En este caso, los productos de la combustión consisten en



dióxido de carbono y agua. El agua puede estar en las fases vapor, líquido o sólido, según sean la temperatura y la presión de los productos de la combustión.

En la práctica industrial, la combustión se logra empleando aire como oxidante. Se considera que los componentes principales del aire son, por volumen, aproximadamente 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de argón. Desde luego, también se presentan pequeñas cantidades de dióxido de carbono y de otros gases. Es conveniente suponer que el aire está compuesto de 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno, por volumen. Por lo tanto, hay 21 moles de oxígeno por cada 79 moles de nitrógeno en la composición que supondremos para el aire atmosférico. La anterior suposición nos conduce a la conclusión de que por cada mol de oxígeno entran en la reacción  $79/21 = 3.76$  moles de nitrógeno.

Cuando se usa el aire como oxidante, hablamos del requisito teórico o la demanda teórica de aire de un combustible.

En la combustión completa del carbono y el hidrógeno para producir dióxido de carbono y agua podríamos usar el nombre de demandas de oxígeno, o de aire, teórica, estequiométrica o químicamente correcta. Cuando un proceso

no usa esta cantidad, hablamos del porcentaje de oxígeno o del aire teórico que realmente se use. La cantidad estequiométrica es 100% de la demanda teórica. Cuando se usa una deficiencia de oxígeno o de aire, el porcentaje queda entre 0 y 100% y un exceso de oxígeno o de aire significa que se utilizó una cantidad mayor al 100% del valor teórico. Así que 200% del aire teórico significa que se suministra el doble del aire que es necesario para la combustión completa. En este caso necesariamente aparecerá oxígeno con los productos. Otros nombres de uso frecuente son exceso porcentual y deficiencia porcentual de oxígeno o de aire. Por ejemplo, 150% del aire teórico es equivalente a un 50% de exceso de aire y un 80% de aire teórico es una deficiencia de 20% de aire.

#### 6.1.6 RELACION DE AIRE COMBUSTIBLE

Frecuentemente se da la relación entre el combustible y el aire que se suministran a un proceso de combustión en términos de la relación o razón aire-combustible o combustible-aire. La razón aire-combustible  $AC(AF)$  se define como la masa de aire suministrado por unidad de masa del combustible que se suministra. El cociente o razón combustible-aire  $CA(FA)$  es el recíproco de la definición anterior.

Finalmente, la relación entre las cantidades de

combustible y aire que se proporcionan en un proceso de combustión está dada también por la razón de equivalencia  $\phi$ , = fi la cual se define así

$$\phi = CA_{\text{real}} / CA_{\text{esteq}}$$

en la que CA del numerador representa la relación combustible-aire usada realmente en las condiciones de la combustión y CA del denominador es el valor estequiométrico o químicamente correcto. El valor de  $\phi$  es menor que 1 cuando se usa un exceso de oxidante (como el aire u oxígeno) y la mezcla se denomina entonces pobre o débil. Una mezcla rica tiene un valor de  $\phi$  mayor que la unidad, y el combustible está en exceso de la demanda estequiométrica. Con frecuencia se usa el término cociente o razón de equivalencia en relación con la operación de un motor de ignición por chispa o por compresión, así como con análisis de las turbinas de gas.

En la combustión incompleta del carbono en un combustible, el carbono reacciona conforme a  $C + 1/2O_2 \rightarrow CO$ . Como el oxígeno tiene una mayor afinidad para combinarse con el hidrógeno que con el carbono, normalmente todo el hidrógeno en un combustible se convierte en agua. Si no hay suficiente oxígeno que garantice la combustión completa, es siempre el carbono el que no reacciona completamente. En la

práctica, generalmente hay CO en los productos aunque se haya suministrado exceso de oxígeno. Esto puede atribuirse a un mezclado incompleto durante el proceso, o bien a un tiempo insuficiente para que la combustión sea completa. Además, el nitrógeno en el aire y en el combustible reacciona parcialmente con el oxígeno para formar óxidos de nitrógeno. Aunque la cantidad que se forma sea pequeña (generalmente menos de 2 000 partes por millón), los óxidos del nitrógeno se consideran contaminantes del aire.

## 6.2 PROCESOS REALES DE LA COMBUSTION

### 6.2.1 COMBUSTION REAL

En la sección anterior, el análisis y los ejemplos estaban basados en la premisa de que se contaba con suficiente información acerca de los reactivos que se encuentran en el proceso de la combustión. Además, fue necesario suponer que con un exceso de aire todo el carbono de un combustible se convertiría por completo en dióxido de carbono. Sin embargo, el conocimiento común, basado en las mediciones de los gases producto, indica que se presenta monóxido de carbono en cantidades importantes aunque se haya usado aire en exceso. Como un aspecto adicional, hay varias aplicaciones en las que es difícil indagar la medida

real de la relación aire-combustible. Normalmente se conoce bastante bien el flujo del combustible, sea sólido, líquido o gas, que entra en la cámara de reacción, por ejemplo, la mayoría de los combustibles pueden clasificarse en alguna de estas categorías: carbones minerales, hidrocarburos líquidos y gaseosos. La mayoría de los hidrocarburos combustibles líquidos y gaseosos son mezclas de varios hidrocarburos diferentes; por ejemplo las gasolinas son mezclas de aproximadamente 40 hidrocarburos principales y multitud de otros en pequeñas cantidades. Por otro lado al tratar sobre la combustión de hidrocarburos combustibles líquidos es conveniente expresar la composición en términos de hidrocarburo solamente, aun cuando el combustible sea realmente una mezcla de varios hidrocarburos, así por ejemplo, la gasolina se considera un octano  $C_8H_{18}$  y el combustible diesel un dodecano  $C_{12}H_{26}$ .

A diferencia del combustible suministrado a la cámara de combustión, el flujo de aire puede resultar difícil de medir con precisión. Para superar estos problemas, se puede practicar un análisis de los productos gaseosos con una buena precisión, del cual se obtiene una importante cantidad de información acerca del proceso de combustión en su totalidad.

Hay numerosos métodos experimentales que pueden utilizarse para determinar la concentración de diversos

componentes de los productos gaseosos reales de la combustión. La necesidad de procedimientos más precisos aumentó con la aprobación que los gobiernos estatales y federales de Estados Unidos dieron a las normas estrictas para el control de emisiones con la capacidad de contaminar el aire, a partir del final de la década de los sesentas.

#### 6.2.2 EVALUACION DE LOS PROCESOS REALES DE LA COMBUSTION

Al evaluar el comportamiento de un proceso de combustión real, podemos definir varios parámetros, según el caso. Dichos parámetros, dependerán de la naturaleza del proceso y el sistema considerados; por ejemplo, al considerar la cámara de combustión de una turbina de gas, nuestro objetivo será elevar la temperatura de los productos a cierto valor dado (generalmente la máxima temperatura que pueden soportar los metales de que está construida la máquina).

Designaremos por relación ideal de combustible-aire, al valor necesario de la relación entre dichos elementos, para obtener determinada temperatura; en la cámara de combustión real, la combustión será hasta cierto punto incompleta; y además, habrá cierta transmisión de calor hacia el ambiente; por lo tanto, se requerirá mayor cantidad de combustible del teórico necesario, para alcanzar la

temperatura prefijada. A la relación entre el combustible realmente necesario y el aire, la llamaremos relación efectiva de combustible-aire. El rendimiento de la combustión será, entonces, la relación que exista entre las relaciones ideal y efectiva de combustible-aire:

$$\eta_{\text{combustión}} = \frac{\text{relación combustible-aire ideal}}{\text{relación combustible-aire efectivo}}$$

### 6.2.3 RENDIMIENTO DE LA COMBUSTION EN UN GENERADOR DE VAPOR

En el hogar de un generador de vapor (caldera), la meta perseguida es transmitir la mayor cantidad de calor al agua. En la práctica, el rendimiento de un generador de vapor se define como la relación entre el calor transmitido al vapor por unidad de masa de combustible y el poder calorífico superior del combustible; tratándose de carbon, el poder calorífico del mismo, medido en una bomba calorimétrica, lo cual es el poder calorífico a volumen constante, que corresponde a la energía interna de combustión. Al proceder así, cometemos un pequeño error, puesto que la caldera implica un proceso de flujo y el cambio en entalpía constituye un factor de consideración; sin embargo, en la mayoría de los casos el error cometido es menor que el error experimental al determinar el poder

calorífico del combustible y podemos definir el rendimiento de un generador de vapor como sigue:

$$\eta_{\text{gen. vap.}} = \frac{\text{calor transferido al vapor/kg de combustible}}{\text{poder calorífico superior del combustible}}$$

En una máquina de combustión interna, el objeto es realizar trabajo; la manera lógica de valuar el comportamiento de tal máquina, mediante un cambio de estado reversible de los reactivos a los productos. En la práctica, el rendimiento de una máquina de combustión interna, se define como la relación entre el trabajo rendido por la máquina y el valor negativo de la entalpía de combustión del combustible (esto es el poder calorífico a presión constante). A este valor se le llama rendimiento térmico.

$$\eta_{\text{térm.}} = \frac{\omega}{(-\Delta H_{\text{pro}})} = \frac{\omega}{\text{poder calorífico}}$$

El rendimiento en conjunto de una turbina de gas o de una planta de vapor, queda definido del mismo modo.

Debemos notar que en una máquina de combustión interna o en una planta generadora de energía eléctrica a vapor que queme combustible, el hecho de que la combustión en sí sea un proceso irreversible, es lo que da cuenta y razón del bajo rendimiento térmico de dichos artefactos e



instalaciones.

#### Ejemplo

En una planta de fuerza de vapor, entran 324,610 kg m de agua por hora a la caldera, a una presión de 130.3 kg f/cm<sup>2</sup> y a 213° C. El vapor sale de la caldera a 92.96 kg f/cm<sup>2</sup> y a 491° C. La turbina rinde 81,000 kw. El combustible (carbón) se quema a razón de 26,786 kg m/hora y tiene poder calorífico superior de 7,950 kcal/kg m.

Determinese el rendimiento del generador de vapor y el rendimiento térmico conjunto de la planta.

El rendimiento de la caldera, quedó definido anteriormente como:

$$\eta_{\text{gen. vap.}} = \frac{\text{calor transferido al H}_2\text{O/kg m de combustible}}{\text{poder calorífico superior del combustible}}$$

Por lo tanto:

$$\eta_{\text{gen. vap.}} = \frac{324,610}{26,786} \times \frac{(804.44 - 168.22)}{7,950} = 0.97 = 97\%$$

El rendimiento térmico se definió como:

$$\eta_{\text{tér.}} = \frac{\omega}{\text{poder calorífico}} = \frac{81,000 \times 860}{26,786 \times 7,950} = 0.327 = 32.7\%$$

## 6.3 ANALISIS DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTION

### 6.3.1 IMPORTANCIA

El análisis de los productos de la combustión proporciona un método muy importante para determinar la composición de las emisiones gaseosas; además por medio de la interpretación de los resultados obtenidos se puede determinar la cantidad de aire efectivamente suministrado a un proceso de combustión. En algunos casos, es de gran utilidad para obtener un análisis de un combustible, partiendo de la evaluación de los productos de la combustión.

### 6.3.2 INSTRUMENTOS QUE MIDEN LA CALIDAD DE LOS GASES DE CHIMENEA

Para el análisis de los productos de la combustión, en la actualidad existen un gran número de fabricantes de instrumentos apropiados para este fin. Generalmente, el análisis de los gases de la combustión se da en base "seca" o bien "húmeda"; en base seca no se indica el porcentaje de vapor de agua en la corriente de gases.

El método práctico de obtener tal análisis es, por tanto, el de mayor importancia y puede llevarse a cabo eficazmente, por medio de un indicador de combustión. Cualquiera

dispositivo que mida, registre, o indique visualmente las características de los gases de la chimenea es un indicador de combustión. Existen varios metodos de medición en uso actualmente.

1. Visual. El humo negro indica una combustión pobre, normalmente por insuficiencia de aire. Un atomizador de diesel que funcione mal también será una causa frecuente. El humo blanco es producido por exceso de aire. El diesel sobrecalentado puede ser una causa. El humo de coloración café es óxido de nitrógeno indeseable (NOx), que es un gas irritante; la SEDUE lo prohíbe. Una columna clara de humo con la menor cantidad de exceso de aire y sin coloración de café es lo deseable. Se usan periscopios para observar los tragaderos de humo, ya sea con un observador que vea el color del flujo de gas con un instrumento o control automático, o con ambos.

2. Prueba Química. La absorción de los gases en soluciones es la base de esta prueba: normalmente un dispositivo orsat o Fyrite. El vacío resultante se mide en un tubo graduado de vidrio para leer el porcentaje de gas. El reconocido analizador orsat es un instrumento representativo que reporta el análisis total en base seca. Aunque tal medición no reporte la fracción molar del vapor de agua presente en la muestra original de gases, no disminuye la efectividad del procedimiento por que el volumen condensado se involucra en los calculos.

3. Medición Eléctrica. Este procedimiento se basa en la variación de la resistencia eléctrica con la temperatura. En el caso de un indicador de combustión de  $\text{CO}_2$ , se tiene un arreglo de dos celdas con un elemento eléctrico de calefacción en cada una. Una celda esta llena de aire y la otra de gas de chimenea. Cada gas tiene diferente calor específico y enfría las bobinas de acuerdo a ello. Puesto que la resistencia eléctrica de las bobinas varía con la temperatura, se mide aquella y la diferencia se lee en la carátula del instrumento como porcentaje de  $\text{CO}_2$ .

4. Densidad del gas de la chimenea comparada con la densidad del aire. Este tipo de indicador, para  $\text{CO}_2$ , tiene dos cámaras con un ventilador en rotación y otro fijo en cada cámara. Se hace circular aire en una de las cámaras y gas de la chimenea en la otra en un proceso continuo. Ambos ventiladores giran a la misma velocidad unidos entre sí y balanceados para medir la fuerza de impacto del pesado  $\text{CO}_2$  en comparación con el aire. La unión hace moverse la aguja sobre la carátula calibrada en porcentaje de  $\text{CO}_2$ .

### 6.3.3 TOMA DE MUESTRA DE GASES

La siguiente figura muestra el equipo para la toma de muestras instantáneas.

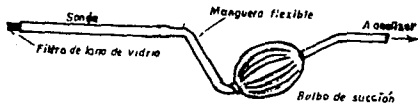


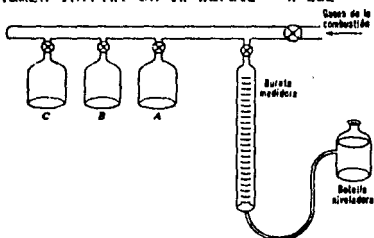
Fig. (6.1) EQUIPO PARA LA TOMA DE MUESTRAS INSTANTANEAS

#### 6.3.4 COMPOSICION Y OPERACION DEL APARATO ORSAT

Para determinar la composición volumétrica de los productos secos de combustión de un hogar o del escape de un motor, se pasa una muestra de estos gases a través de varios reactivos, cada uno de los cuales absorbe un componente determinado de los productos. A medida que es absorbido cada componente, el volumen de la muestra disminuye, y su descenso es una medida del volumen del componente gaseoso absorbido.

COMPOSICION DE LOS GASES	
% CO <sub>2</sub>	Vol B - Vol abs en A
% O <sub>2</sub>	Vol B - Vol abs en A - Vol abs en B
% CO	Vol B - Vol abs en A - Vol abs en B - vol abs en C

% N<sub>2</sub> = Volumen inicial en la bureta - % CO<sub>2</sub> - % O<sub>2</sub> - % CO



Arreglo esquemático del aparato de Orsat.

Fig. (6.2) PARTES CONSTITUTIVAS DEL ANALIZADOR ORSAT

El analizador orsat esta compuesto por:  
 una bureta cuyo extremo inferior está conectado mediante un tubo de goma con una pequeña botella abierta H. El extremo superior está unido a un tubo colector D, en la que hay una llave de tres pasos E. Las pipetas B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> y B<sub>3</sub> están unidas al citado tubo a través de tres llaves de un solo paso C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub>, respectivamente. La llave E está también en

comunicación con un tubo en forma de U, K, que está asimismo conectado con el tubo de toma de muestra J. La pequeña botella H y la bureta A contienen agua coloreada y las pipetas  $B_1$ ,  $B_2$  y  $B_3$  contienen reactivos que absorben el  $CO_2$ ,  $O_2$  y CO, respectivamente. El tubo en U contiene un agente desecante, de manera que la muestra de gases entrante a través de J está completamente seca, antes de pasar por D.

Conectado con la llave de triple paso y en comunicación con el conducto de toma J se encuentra un tubo de goma con una pera. El objeto de esta pera es facilitar que el conducto J se llene de gases.

La llave E tiene tres posiciones y puede colocarse de tal forma que cierre completamente el tubo D o abrirlo hacia el conducto J, o bién, hacia la atmósfera. Estas posiciones las llamaremos posición de "cierre", posición "gas" y posición "atmosfera", respectivamente.

Con todas las llaves cerradas, elevando (o descendiendo) la botella H, crece (o decrece) la presión en el tubo D. Si se abre la llave E hasta la posición "atmosfera" y se levanta la botella, se expulsará el gas que hubiera en la parte superior del líquido de A. Si siguen cerradas las llaves  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  y se gira la llave E hasta la posición "gas" y se baja la botella, se aspira una muestra de los gases en el conducto D y en la bureta. De manera similar, si se abre alguna de las llaves C, mientras la llave E está

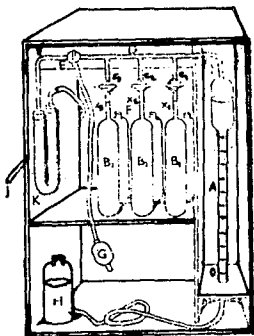


fig. (d. 3) PARTES OPERATIVAS DEL APARATO ORSAT

en la posición "cerrada" puede hacerse pasar gas hacia dentro o hacia fuera de la pipeta adecuada elevando o descendiendo la botella H.

Cada una de las pipetas consiste en dos botellas colocadas en la forma que se ven en la figura (d. 3). La



botella delantera contiene pequeños tubos de cristal que incrementan la superficie húmeda de tal forma que el gas que entra a la pipeta se pone en contacto con una mayor superficie de reactivo, cuando éste desciende su nivel en la botella anterior y lo eleva en la posterior.

La pipeta  $B_1$  contiene una solución de 76 g de potasa cáustica en 200  $\text{cm}^3$  de agua. Este reactivo absorbe  $\text{CO}_2$ . La pipeta  $B_2$  contiene una muestra de 10 gramos de ácido pirogálico disuelto en 30  $\text{cm}^3$  de agua y 60 gramos de potasa cáustica disueltos en 170  $\text{cm}^3$  de agua. Esta solución absorbe  $\text{O}_2$ . La tercera pipeta  $B_3$  contiene 12 gramos de cloruro cuproso disueltos en 100  $\text{cm}^3$  de ácido clórico concentrado y esta solución absorbe  $\text{CO}$ .

La muestra debe pasarse por las pipetas  $B_1, B_2$  y  $B_3$  en este orden, ya que la solución de la pipeta  $B_3$  absorbe tanto el  $\text{CO}_2$  como el  $\text{CO}$ .

El aparato se emplea de la siguiente manera:

Después de la preparación de las soluciones las pipetas deben llenarse de tal forma que el nivel del líquido en ellas alcance justamente la mitad de las botellas. El nivel de cada reactivo se ajusta entonces de tal forma que coincida con la marca x en la caña de la pipeta. Para lograrlo se abre la llave E a la atmósfera y se cierran las llaves  $C_1, C_2$  y  $C_3$ . Se eleva la botella H para gas hasta

que la bureta esté casi completamente llena de agua coloreada. Se cierra E y se abre  $C_1$  y se hace descender la botella H hasta que el reactivo de la pipeta  $B_1$  coincida con la marca  $X_1$ . Entonces se cierra la llave  $C_1$ . Se repite el proceso para las otras pipetas. Para aspirar una muestra, las llaves  $C_1, C_2$  y  $C_3$ , deberán estar cerradas, y la llave E girada hacia la posición atmósfera. La botella H se eleva hasta que el nivel de agua coloreada en A coincide con la marca Y.

Se actúan entonces sobre la pera hasta llenar el tubo de muestra con gases, operación que quedará cumplida oliendo los gases salientes de la perilla.

Se gira ahora la llave E hasta la posición "gas" y se descende la botella H. Esta operación introduce gas en el ducto D y en la bureta. Cuando la bureta está casi vacía de líquido se levanta la botella, y mientras el líquido en A se eleva, se gira la llave E hasta la posición atmósfera. Tan pronto como el líquido en A está cerca de la marca Y se gira de nuevo la llave E hacia la posición gas y se introduce una nueva muestra. Este procedimiento se repite hasta que se ha expulsado todo el aire que había en el interior. Este método ha sido descrito detenidamente porque es muy importante el expulsar la totalidad del aire contenido en el tubo D.

Ahora puede aspirarse lentamente una muestra definitiva y el nivel de líquido en A debe ser bajado hasta por debajo

de la marca cero de la escala de la bureta. La llave E se gira hasta la posición de "cierre" y el nivel del líquido debe hacerse coincidir con la marca de cero sosteniendo la botella cerca de la bureta, ajustando la altura hasta que alcance la posición requerida. La llave E se abre lentamente a la posición atmósfera y por tanto el nivel del líquido en A se eleva lentamente. Se cierra entonces la llave E.

Cuando el nivel del líquido en A está en cero, el aparato contiene  $100 \text{ Ocm}^3$  de gases (depreciando el volumen de gas en el conducto D). Se pasa ahora la muestra dentro y fuera de la pipeta  $B_1$  abriendo la llave  $C_1$  y levantando y descendiendo la botella H. Debe tenerse cuidado de no derramarse reactivo o agua coloreada al conducto D. Esto puede conseguirse observando siempre la elevación del nivel del líquido.

Después de un espacio de tiempo, el nivel del líquido en  $B_1$  vuelve a la posición x y se cierra la llave  $C_1$ . Los niveles de agua coloreada en la bureta A y en la botella H se hacen coincidir y se toma una lectura del nivel del líquido en la bureta. La muestra se pasa entonces a la pipeta  $B_1$  de nuevo, y se repite el proceso hasta que se tomen dos lecturas consecutivas iguales en la escala de la bureta.

La muestra se pasa a las pipetas restantes, por turno, y en la misma forma que se acaba de describir.

Una serie de lecturas podría ser:

6,3 18,6 18,8

Esto significa que, 100 cm<sup>3</sup> de muestra aspirada,

6,3 cm<sup>3</sup> es CO<sub>2</sub>

(18,6 - 6,3) = 12,3 cm<sup>3</sup> es O<sub>2</sub>

(18,8 - 18,6) = 0,2 cm<sup>3</sup> es CO

Se supone que el gas que queda en el aparato es nitrógeno. Por tanto, en este caso el análisis sería:

CO<sub>2</sub>: 6,3%, O<sub>2</sub>: 12,3%, CO: 0,2%, N<sub>2</sub>: 81,2%

Deben tenerse presentes los siguientes puntos:

(a) El aparato Orsat antes de ser empleado debería ser comprobado para verificar si hay escapes. Esto puede hacerse cerrando todas las llaves y elevando la botella H. Si no hubiera pérdidas, los niveles de líquidos deberían permanecer estacionarios.

(b) Debe procurarse no realizar falsos movimientos con la botella H.

(c) Cada vez que se cierra la llave C, los niveles de reactivos deben volverse en el punto exacto de la señal x. Si no se hace esto, pueden producirse lecturas falsas.

(d) Los niveles de líquido en la bureta A y en la botella H deben ser coincidentes en el momento de tomar la lectura. Cada lectura es, por tanto, tomada a la misma presión.

(e) Los reactivos deben reemplazarse periódicamente.

(f) En las botellas posteriores de las pipetas deben colocarse tapones de corcho para prevenir el deterioro de

los reactivos cuando no se emplee el aparato. Cuando el aparato esté funcionando los tapones deben retirarse. Las superficies de los reactivos en las botellas posteriores deben cubrirse con una delgada capa de aceite.

(g) Las llaves deben estar siempre bien engrasadas. Esto facilita su movimiento y evita fugas.

El método descrito para el empleo del aparato de Orsat, es el generalmente usado. No obstante, los resultados obtenidos con este método no son exactos, ya que se despreña el volumen de gas dentro del conducto C. En algunos tipos de aparatos de marca es omitida y el volumen de gas en el aparato es  $100 \text{ cm}^3$ , cuando el nivel del líquido en la bureta está en cero.

Puede adoptarse, por tanto, entonces el método siguiente:

Después que se han ajustado los niveles x se aspira en el aparato una muestra de aire y se hace pasar a través de la pipeta  $B_2$  hasta que se haya absorbido todo el oxígeno y el gas restante en el aparato sea virtualmente nitrógeno.

Se eleva ahora la botella H hasta que el nivel del líquido en su interior coincida con la señal Y y se abre cuidadosamente la llave E hacia la posición "atmósfera".

Cuando los niveles de líquido en la bureta y en la botella H coinciden con la marca Y se cierra la llave E. Después de purgar el tubo de entrada por medio de la pera, se introduce una muestra y se opera como hemos previsto

anteriormente. Dado que al principio de la introducción de la muestra, el conducto D está lleno de  $N_2$ . Este método asegura que se inhale  $100\text{ cm}^3$  de gases.

## CAPITULO SIETE

## CASO PRACTICO 1

## 7.1 CARACTERISTICAS DEL PROCESO

El muestreo de gases y partículas en el siguiente caso práctico, se llevó a cabo en una importante empresa fabricante de valvulas de grandes dimensiones para la industria petrolera.

Una etapa básica en la fabricación del producto es un tratamiento térmico de revenido, el cual, se lleva a cabo en hornos de grandes dimensiones, los cuales mantienen por varias horas la carga a temperaturas muy elevadas.

La energía calorífica se obtiene a través de la combustión de gas natural, este combustible se suministra de manera regular y automática, manteniendo una temperatura constante según lo dictan las normas propias de dicho tratamiento térmico.

Cabe señalar que a causa de lo anterior el proceso muestreado tiene características constantes, por lo que su análisis de productos de combustión no presenta mayor complejidad respecto al número de muestreos preliminares, para llegar a un muestreo definitivo y representativo.



## 7.2 DESARROLLO

### 7.2.1 CONDICIONES DE MUESTREO (DATOS DE CAMPO)

DESCRIPCION	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR	OBSERVACIONES
DIAMETRO INTERNO DE LA CHIMENEA.	D. I.	m	0.28	
PRESION BAROMETRICA.	Pb	Pa	78127	23.132 inch Hg
TEMPERATURA EN LA CHIMENEA.	Tch	°K	823	550°C
PRESION ESTATICA EN LA CHIMENEA	Pech	Pa	4.97	0.02 inch H <sub>2</sub> O
TEMPERATURA PROM. DEL GASOMETRO.	Tg	°K	300.78	82°F
PRESION DE VACIO EN EL GASOMETRO.	Pg	Pa	810.6	0.24 inch Hg
PRESION ABS. DEL GASOMETRO	Pb-Pg	Pa	77316.4	22.892 inch Hg
PESO TOTAL DEL AGUA CAPTADA.	Plac	gr <sup>3</sup> ó cm <sup>3</sup>	10	
FACTOR DE CORRECCION DEL GASOMETRO.	F.C.G.	Adim.	1	
VOLUMEN DE GAS MUESTREADO.	Vm	Lts.	679.60	24 Ft <sup>3</sup>
VOLUMEN CORREGIDO.	Vc	Lts.	679.60	

$$V_c = V_m \times F.C.G. = 679.60 \times 1 = \underline{679.60 \text{ Lts.}}$$

FACTOR DE CORRECCION DEL TUBO PITOT.	F.C.T.P.	Adim.	0.965
--------------------------------------	----------	-------	-------

### 7.2.2 CALCULO DE LA FRACCION DE HUMEDAD

FRACCION DE GAS HUMEDO.	F.g.h.	Adim.	0.026
-------------------------	--------	-------	-------

$$F.g.h. = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{V_w + V_c}$$

$$F.g.h. = \frac{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times P_{\text{tac}} \times (\text{gHzO}) \frac{T_g(^{\circ}\text{K})}{P_b - P_g(\text{Pa})} \right]}{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times P_{\text{tac}} \times (\text{gHzO}) \frac{T_g(^{\circ}\text{K})}{P_b - P_g(\text{Pa})} \right]} + V_c(\text{Lts})$$

$$F.g.h. = \frac{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times 10 \times (\text{gHzO}) \frac{300.78(^{\circ}\text{K})}{77316.4 (\text{Pa})} \right]}{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times 10 \times (\text{gHzO}) \frac{300.78(^{\circ}\text{K})}{77316.4 (\text{Pa})} \right]} + 679.50(\text{Lts})$$

$$F.g.h. = \frac{17.9 \text{ Lts}}{17.9 + 679.60} = \underline{0.026}$$

FRACCION DE GAS F.G.S. Adim. 0.974  
SECO.

$$F.g.s. = 1 - F.g.h. = 1 - 0.026 = \underline{0.974}$$

### 7.2.3 CHEQUEO DE CAMPO DEL PESO MOLECULAR PARA EL CALCULO DE LA DENSIDAD

El peso molecular es usado cuando ocurren cambios sustanciales en la fracción de humedad.

#### FRACCIONES DEL ANALIZADOR DE COMBUSTION (WESTINHOUSE)

GAS	FRACCION EN VOLUMEN (%)
CO <sub>2</sub>	03.28
O <sub>2</sub>	14.82
CO	0.00704
SO <sub>2</sub>	0.00004
NO <sub>2</sub>	0.0420
N <sub>2</sub>	$\frac{81.851}{100 \%}$

DETERMINACION DEL PESO MOLECULAR DEL GAS

$$H_2O = 18 \times F.g.h. = 18 \times 0.026 = 0.468$$

GAS	PM	FRACCION DE GAS		FRACCION DE GAS SECO.	PESO MOLECULAR	
		$\frac{gr}{grmo}$	$\frac{mol}{100 mol.}$			
CO <sub>2</sub>	44	x	03.28	x	0.974	140.56800
O <sub>2</sub>	32	x	14.82	x	0.974	461.91000
CO	28	x	0.00704	x	0.974	0.1920
SO <sub>2</sub>	64	x	0.00004	x	0.974	0.0025
NO <sub>2</sub>	46	x	0.0420	x	0.974	1.8820
N <sub>2</sub>	28	x	81.851	x	0.974	2232.2400

$$PESO MOLECULAR DEL GAS = PM_g = 2836.7940$$

$$PM_g = 28.37 \text{ gr/grmol}$$

DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA

$$G_e = \frac{PM_g}{PM_a} = \frac{28.37}{28.97} = 0.98$$

PARA LA DENSIDAD DEL CONJUNTO DE GASES

$$\rho = \frac{P_b(Atm) \times PM_g}{\lambda \times T_{ch}} = \frac{0.77 \text{ ATM} \times 28.37 \text{ gr/gr mol}}{0.082 \frac{\text{LTS} \cdot \text{ATM}}{\text{grmol} \cdot \text{K}} \times 823^\circ \text{ K}} = 0.324 \text{ gr/LTS.}$$

$$\rho = 0.324 \text{ gr/LTS.} = 0.324 \text{ Kg/h}^3$$

7.2.4 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE LOS GASES

DATOS OBTENIDOS DE CAMPO

EQUIPO	N° DE PUNTO TRANSVERSAL	$\Delta p$ [inch de H <sub>2</sub> O]				$\sqrt{\Delta P}$
		I	II	III	PROM.	
1	1 N-S	0.09	0.08	0.06	0.08	0.28
	2 N-S	0.10	0.11	0.09	0.10	0.32
	3 N-S	0.11	0.13	0.12	0.12	0.35

4 N-S	0.11 0.12 0.13 0.12	0.35
5 N-S	0.11 0.12 0.13 0.12	0.35
6 N-S	0.11 0.09 0.10 0.10	0.32
7 E-W	0.06 0.08 0.09 0.08	0.28
8 E-W	0.11 0.12 0.13 0.12	0.35
9 E-W	0.11 0.12 0.13 0.12	0.35
10 E-W	0.12 0.13 0.12 0.12	0.35
11 E-W	0.11 0.12 0.13 0.12	0.35
12 E-W	0.09 0.10 0.11 0.10	0.32

$$\Sigma \Delta P = 0.11 \quad \Sigma \sqrt{\Delta P} = 0.33$$

$$\text{PRESION DINAMICA} = \overline{P_D} = \Sigma \Delta P = 0.11 \text{ [inch H}_2\text{O]} = 27.317 \text{ [Pa].}$$

CALCULO DE LA PRESION ABSOLUTA EN LA CHIMENEA

$$P_{ch} = P_{absch} = P_{sch} + P_b = 4.97 \text{ Pa} + 78127 \text{ Pa} = \underline{78132 \text{ [Pa].}}$$

CALCULO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO PRELIMINAR V<sub>ch</sub> [m/seg].

$$V_{ch} = 0.077 \text{ F.C.T.P} \sqrt{\frac{P_{ch} \overline{P_D}}{\rho r_{ch}}}$$

$$V_{ch} = 0.077 \times 0.965 \sqrt{\frac{78132 \times 27.317}{0.324 \times 823}}$$

$$V_{ch} = \underline{6.648 \text{ [m/seg]}}$$

#### 7.2.5 CALCULO DEL GASTO VOLUMETRICO EN LA CHIMENEA

$$A_{ch} = 0.785 (D.I.)^2 = 0.062 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$G_{ch} = V_{ch} A_{ch} \times [60 \text{ seg/min}] \times [60 \text{ min/Hr}]$$

$$G_{ch} = 6.648 \text{ [m/seg]} \times 0.062 \text{ [m}^2\text{]} \times [60 \text{ seg/min}] \times [60 \text{ min/Hr}]$$

$$G_{ch} = \underline{1483.83 \text{ [m}^3\text{/Hr]}}$$

## 7.2.6 DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE ISOCINETICIDAD

$$\% \text{ ISO} = \frac{V.S.B.}{V_{eq.}} \times (100) = \frac{V_{tch}}{V_{eq.}} \times (100)$$

donde:

$$V_{tch} = V_l \frac{P_b - P_g}{P_{ch}} \frac{T_{ch}}{T_g}$$

$$V_l = V_v + V_c = 17.9 \text{ Lts} + 679.6 \text{ Lts} = \underline{697.5 \text{ Lts}}$$

$$V_{tch} = 697.5 \text{ Lts} \frac{77316.4 \text{ Pa}}{78132 \text{ Pa}} \frac{823 \text{ }^\circ\text{K}}{300.78 \text{ }^\circ\text{K}} = \underline{1888.6 \text{ Lts.}}$$

$V_{tch} = \underline{1888.6 \text{ Lts.}}$  es el volumen de gas a condiciones de chimenea succionado por la boquilla muestreadora.

Y:

$$V_{eq.} = A_b \times t \times V_{tch}$$

$$V_{eq.} = 71.22 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)} \times 60 \text{ [min]} \times 6.648 \text{ [m/seg]} \left[ \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \right] \left[ \frac{10^3 \text{ Lts}}{1 \text{ m}^3} \right]$$

$V_{eq.} = \underline{1704.5 \text{ Lts.}}$  es el volumen de gas que se debiera succionar por la boquilla muestreadora.

Por lo tanto:

$$\% \text{ ISO} = \frac{V_{tch}}{V_{eq.}} \times (100) = \frac{1888.5 \text{ Lts}}{1704.5 \text{ Lts}} \times (100) = 110.8\%$$

$$\% \text{ ISO} = 110.8\%$$

como el porcentaje de isocinetividad no se encuentra dentro del rango de entre 90 y 110% se debiera proceder a calcular el gasto con que se deben succionar los gases de chimenea, y con este valor se regresará a campo para realizar una prueba definitiva.

## 7.2.7 CALCULO DEL GASTO DEL MEDIDOR DE LA PRUEBA

### PRELIMINAR

Para este calculo se debiera seleccionar un

diametro de boquilla, suponiendo una temperatura en el gasometro algo mayor o igual a la temperatura ambiente, cuando se haya detectado humedad se debera realizar la corrección del gasto del gasometro por humedad, multiplicando  $G_g$  por el factor de gas seco. Para esta determinación exploratoria se realizara la medición en el punto de prueba cuya velocidad se aproxime lo más posible a la velocidad promedio.

$$G_g = A_b V_{ch} \frac{T_g}{T_{ch}} [P_{ch}/P_b - P_g]^* F.g.s.$$

donde:

$$A_b = \text{area de la boquilla en } m^2 = 0.785 (D_b)^2$$

$$A_b = 0.785 (3/8" \times 0.0254)^2 = \underline{71.22 \times 10^{-6} m^2}$$

\*Siempre que la presión del medidor varíe más del 5% de la presión del conducto, se debera aplicar la corrección de presión como se observa en la ecuación anterior.

$$G_g = (71.22 \times 10^{-6} m^2) (6.648 m/seg) \frac{300.78^\circ K}{823.00^\circ K} \left[ \frac{78132 Pa}{77316.4 Pa} \right] \times 0.965$$

$$G_g = \underline{1.703 \times 10^{-4} m^3/seg}$$

$$G_g = 1.703 \times 10^{-4} m^3/seg [60 seg/min] = \underline{0.01022 m^3/min.}$$

$$G_g = 0.01022 m^3/min [1000 Lts/ 1 m^3] = \underline{10.22 Lts/min.}$$

$$G_g = 10.22 Lts/min \times [1 Ft^3/28.32 Lts] = \underline{0.3609 Ft^3/min}$$

Este valor será el gasto correcto en el gasometro en  $Ft^3/min$  para mantener una velocidad a través de la boquilla igual a la velocidad del gas en la chimenea en el plano transversal del puerto de muestreo y en el punto seleccionado de 1.8  $Ft^3/5min.$

### 7.2.8 RESUMEN DE LOS DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR

Vc = VOLUMEN DEL GAS MUESTREADO MEDIDO EN EL GASOMETRO.	<u>679.6Lts</u>
Pr = PESO DEL POLVO RETENIDO	<u>0.0024gr</u>
Tg = TEMP. PROM. DEL GASOMETRO	<u>300.78°K</u>
Pg = VACIO PROMEDIO EN EL GASOMETRO	<u>810.6Pa</u>
Vtac = VOLUMEN TOTAL DE AGUA CONDENSADA	<u>10gr o cm<sup>3</sup></u>

### 7.2.9 CALCULO DEL GASTO DEL MEDIDOR EN LA PRUEBA DEFINITIVA

Los datos obtenidos en la prueba definitiva después de haber muestreado nuevamente con el gasto sugerido de 0.3609 Ft<sup>3</sup>/min son los siguientes:

$$Pch = 78132 \text{ [Pa].}$$

$$Tg = 300.78 \text{ [°K]}$$

$$Tch = 827 \text{ [°K]}$$

$$Pd = 0.115 \text{ inch de H}_2\text{O} = 28.56 \text{ [Pa].}$$

$$Pb - Pg = 77316.4 \text{ [Pa].}$$

$$Pr = 0.0021 \text{ [gr]}$$

$$Vc = 613.2 \text{ [Lts].}$$

$$Vtac = 8.9 \text{ [gr]}$$

$$F.g.h. = \frac{W_v}{V_t} = \frac{W_v}{V_v + V_c}$$

$$F.g.h. = \frac{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times P_{tac} \left( \frac{\text{gHzO}}{\text{Pa}} \right)^{\frac{T_g(\text{°K})}{T_c(\text{°K})}} \right]}{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times P_{tac} \left( \frac{\text{gHzO}}{\text{Pa}} \right)^{\frac{T_g(\text{°K})}{T_c(\text{°K})}} \right]} + V_c(\text{Lts})$$

$$F.g.h. = \frac{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzD}} \times 8.9 \times (\text{gHzD}) \frac{300.78(^{\circ}\text{K})}{77316.4 (\text{Pa})} \right]}{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzD}} \times 8.9 \times (\text{gHzD}) \frac{300.78(^{\circ}\text{K})}{77316.4 (\text{Pa})} \right] + 613.20(\text{Lts})}$$

$$F.g.h. = \frac{15.93 \text{ Lts}}{(15.93 + 613.20) \text{ Lts}} = \underline{0.025}$$

$$F.g.s. = 1 - F.g.h. = 1 - 0.025 = \underline{0.975}$$

$$\rho = \frac{P_b (\text{ATM}) \times PM_g}{\alpha T_{ch}} = \underline{0.322 \text{ gr/Lts.}}$$

$$V_{ch} = 0.077 \text{ F.C.T.P} \sqrt{\frac{P_{ch} P_d}{\rho T_{ch}}}$$

$$V_{ch} = 0.077 \times 0.965 \sqrt{\frac{78132 \times 28.560}{0.322 \times 827}}$$

$$V_{ch} = \underline{6.802 \text{ [m/seg]}}$$

$$A_{ch} = 0.785 (D.I.)^2 = 0.062 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$G_{ch} = V_{ch} A_{ch} \times [60 \text{ seg/min}] \times [60 \text{ min/Hr}]$$

$$G_{ch} = 6.802 \text{ [m/seg]} \times 0.062 \text{ [m}^2\text{]} \times [60 \text{ seg/min}] \times [60 \text{ min/Hr}]$$

$$G_{ch} = \underline{1518.21 \text{ [m}^3\text{/Hr]}}$$

$$\% \text{ ISO} = \frac{V_{s.B.}}{V_{eq.}} \times (100) = \frac{V_{tch}}{V_{eq.}} \times (100)$$

donde:

$$V_{tch} = V_t \frac{P_b - P_g}{P_{ch}} \frac{T_{ch}}{T_g}$$

$$V_t = V_v + V_c = 15.93 \text{ Lts} + 613.2 \text{ Lts} = \underline{629.13 \text{ Lts}}$$

$$V_{tch} = 629.13 \text{ Lts} \frac{77316.4 \text{ Pa}}{78132 \text{ Pa}} \frac{827 \text{ }^{\circ}\text{K}}{300.78 \text{ }^{\circ}\text{K}} = \underline{1711.75 \text{ Lts.}}$$

$V_{tch} = \underline{1711.75 \text{ Lts.}}$  es el volumen de gas a condiciones de chimenea succionado por la boquilla muestreadora.



yt

$$V_{eq} = A_b \times t \times V_{ch}$$

$$V_{eq} = 71.22 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]} \times 60 \text{ [min]} \times 6.802 \text{ [m/seg]} \left[ \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \right] \left[ \frac{10^3 \text{ Lts}}{1 \text{ m}^3} \right]$$

$V_{eq} = \underline{1743.9 \text{ Lts.}}$  es el volumen de gas que se deberá succionar por la boquilla muestreadora.

Por lo tanto:

$$\% \text{ ISO} = \frac{V_{ich}}{V_{eq}} \times (100) = \frac{1711.75 \text{ Lts}}{1743.9 \text{ Lts}} \times (100) = 98.15 \%$$

$$\% \text{ ISO} = 98.15 \%$$

con lo el porcentaje de isocineticidad se encuentra dentro del rango de entre 90 y 110 % .

A continuación se verifica el gasto que debe indicar la caratula del medidor de gas.

$$G_g = A_b V_{ch} \frac{T_g}{T_{ch}} [P_{ch}/P_b - P_g]^{\frac{1}{2}} F.q.s.$$

$$A_b = 0.785 (3/8" \times 0.0254)^2 = \underline{71.22 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$G_g = (71.22 \times 10^{-6} \text{ m}^2) (6.802 \text{ m/seg}) \frac{300.78^\circ \text{K}}{827.00^\circ \text{K}} \left[ \frac{78132 \text{ Pa}}{77316.4 \text{ Pa}} \right] \times 0.975$$

$$G_g = \underline{1.736 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}$$

$$G_g = 1.736 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg} [60 \text{ seg/min}] = \underline{0.01042 \text{ m}^3/\text{min.}}$$

$$G_g = 0.01042 \text{ m}^3/\text{min} [1000 \text{ Lts}/1 \text{ m}^3] = \underline{10.42 \text{ Lts/min.}}$$

$$G_g = 10.42 \text{ Lts/min} \times [1 \text{ Ft}^3/28.32 \text{ Lts}] = \underline{0.3678 \text{ Ft}^3/\text{min}}$$

Este valor es el gasto correcto en el gasometro en  $\text{Ft}^3/\text{min}$  para mantener una velocidad a través de la boquilla igual a la velocidad del gas en la chimenea en el plano transversal del puerto de muestreo y en el punto seleccionado de  $0.3678 \text{ Ft}^3/\text{min}$  ( $1.84 \text{ Ft}^3/5 \text{ min}$ ).

Por lo tanto, si el ajuste del gasto del gasometro se

realizo entre 0.3609 Ft<sup>3</sup>/min y 0.3747 Ft<sup>3</sup>/min, los datos obtenidos en la prueba definitiva son considerados buenos y representativos del proceso muestreado.

#### 7.2.10 RESUMEN DE LOS DATOS DE LA PRUEBA DEFINITIVA

Vcd= VOLUMEN DEL GAS MUESTREADO MEDIDO EN EL GASOMETRO.	<u>613.2Lts</u>
T <sub>g</sub> = TEMP. PROM. DEL GASOMETRO	<u>300.78°K</u>
P <sub>b</sub> = PRESION BAROMETRICA	<u>78127Pa</u>
P <sub>g</sub> = VACIO PROMEDIO EN EL GASOMETRO	<u>810.6Pa</u>
P <sub>b</sub> -P <sub>g</sub> = PRESION ABSOLUTA EN EL GASOMETRO	<u>77316.4Pa</u>
V <sub>tlc</sub> = VOLUMEN TOTAL DE AGUA CONDENSADA	<u>8.9qr ó cm<sup>3</sup></u>
Pr = PESO DEL POLVO RETENIDO	<u>0.0021gr</u>

#### 7.2.11 CALCULO DE LA CONCENTRACION DEL POLVO RETENIDO

$$C_p = \frac{Pr}{V_t} = \frac{0.0021 \text{ gr} \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ gr}}}{613.2 \text{ Lts} \frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ Lts}}} = 3.4247 \text{ [mg/m}^3\text{]}$$

#### 7.2.12 CALCULO DE LA EMISION POR CHIMENEA

$$E = G_{ch} \text{ (m}^3\text{/Hr)} C_p \text{ (mg/m}^3\text{)} \times \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}}$$

$$E = 1518.21 \text{ [m}^3\text{/Hr]} 3.4247 \text{ [mg/m}^3\text{]} \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} = 0.0052 \text{ [Kg/Hr]}$$

### 7.2.13 CALCULO DE LA CONCENTRACION EQUIVALENTE DE PARTICULAS

$$C.E. = \frac{E}{\text{CONSUMO DE COMBUSTIBLE}} = \frac{0.0052 \text{ [Kg/hr]}}{90.613 \text{ [m}^3\text{/Hr]}} = \underline{57.39 \times 10^{-6} \text{ [Kg/m}^3\text{]}}$$

$$C.E. = 57.39 \text{ [Kg/10}^6\text{ m}^3\text{]}$$

### 7.2.14 CALCULO DE LA CONCENTRACION EQUIVALENTE PARA CADA GAS

Para cada gas por separado se determina:

la densidad,

$$\rho = \frac{Pb \text{ (ATM)} \times PMg}{\alpha \cdot Tch} = \frac{0.77 \text{ ATM} \times 44.00 \text{ gr/gr mol}}{0.082 \frac{\text{LTS} \cdot \text{ATM}}{\text{gr mol} \cdot \text{K}} \times 827 \text{ K}} = \underline{0.499 \text{ gr/LTS.}}$$

$$\rho = 0.499 \text{ [gr/LTS]} = 0.499 \text{ [mg/mlts]}$$

la concentración,

$$C = \rho \text{ (mg/mlts)} \times \frac{\text{FRACCION DEL ANALIZADOR DE GASES. (\%)}}{1\%} \times \left[ \frac{10^6 \text{ mlts/m}^3}{1\%} \right]$$

$$C = 0.499 \text{ [mg/mlts]} \times 3.28\% \times \left[ \frac{10^6 \text{ mlts/m}^3}{1\%} \right] = 16387 \text{ [mg/m}^3\text{]}$$

la emisión,

$$E = C \text{ (mg/m}^3\text{)} \cdot Gch \text{ (m}^3\text{/Hr)} \times \left[ \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \right]$$

$$E = 16387 \text{ [mg/m}^3\text{]} \cdot 1518.21 \text{ [m}^3\text{/Hr]} \times \left[ \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \right] = \underline{24.879 \text{ [Kg/Hr]}}$$

la concentración equivalente,

$$C.E. = \frac{E}{\text{CONSUMO DE COMBUSTIBLE}} = \frac{24.879 \text{ [Kg/Hr]}}{90.613 \text{ [m}^3\text{/Hr]}} = \underline{274561 \times 10^{-6} \text{ [kg/m}^3\text{]}}$$

C.E. = 274561 [Kg/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>]

GAS	PM	FRACCION DE GAS	DENSIDAD DE CADA GAS.	CONCEN- TRACION	EMISION	C. EQUI VALENTE
	gr /gmol	mol /100 moles		[mg/m <sup>3</sup> ]	[Kg/Hr]	[Kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
CO <sub>2</sub>	44	03.2800	0.499	16386.940	24.8788	274561
O <sub>2</sub>	32	14.8200	0.363	53847.995	81.7500	902217
CO	28	0.00704	0.318	22.382	0.0339	375
SO <sub>2</sub>	64	0.00004	0.727	0.291	0.0004	5
NO <sub>2</sub>	46	0.04200	0.522	219.370	0.3330	3676
N <sub>2</sub>	28	81.8510	0.318	260227.6170	395.0802	4360083

7.2.15 COMPARACION DE LOS RESULTADOS CONTRA LA NORMA (NTE-CCAT-008) PARA GAS NATURAL.

CONTAMINANTES	CONCENTRACION EQUIVALENTE. [Kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	N.M.P.E.A. kg/10 <sup>6</sup> M <sup>3</sup> **	** DENTRO DE NORMA
Particulas	57.39	100	**
Monóxido de carbono	375.00	500 <sup>c</sup> 640 <sup>d</sup>	**
Bióxido de azufre	5	10	**
Oxido de nitrógeno*	3676	2250 <sup>c</sup> 9000 <sup>d</sup>	**

\* KILOGRAMOS DE CONTAMINANTE POR CADA MILLON DE METROS CUBICOS DE GAS NATURAL CONSUMIDO A UN KILOGRAMO POR CENTIMETRO CUADRADO (8080 Pa) Y 293 °K (20 °C).

<sup>b</sup> LOS OXIDOS DE NITROGENO EXPRESADOS COMO BIXIDO DE NITROGENO.

LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES SE ESPECIFICAN DE ACUERDO AL TAMAÑO DEL EQUIPO, EN DOS GRUPOS:

<sup>c</sup> PARA EQUIPOS DE COMBUSTION DE CAPACIDAD HASTA DE 100x10<sup>6</sup> JOULES / HORA.

<sup>d</sup> PARA EQUIPOS DE COMBUSTION DE CAPACIDAD MAYOR DE 100x10<sup>6</sup> JOULES / HORA.

## **CAPITULO OCHO**

## **CASO PRACTICO 2**

## 8.1 CARACTERISTICAS DEL PROCESO

En el presente caso práctico el muestreo de gases y partículas se llevó a cabo en una industria metal-mecánica dedicada a la fabricación de asientos automotrices.

El proceso de fabricación de estos asientos requiere el uso de vapor ya que por medio de este se transfiere calor a un molde que contiene en su interior poliuretano en estado líquido, para después tomar la forma del molde en estado ya esponjoso. Por lo anterior el consumo de vapor es casi constante en la línea de producción.

El vapor que alimenta dicho proceso es proveniente de una caldera CLEAVER BROOK de 125 C.C. (capacidad de 1960 kg/Hr de vapor saturado), que es alimentada con DIESEL a una razón de  $0.17 \text{ m}^3/\text{Hr}$ .

Por todo lo anterior, es fácil notar que el proceso trabaja sobre un régimen regularmente constante, es decir, sin alteraciones significativas; por lo que un solo muestreo definitivo será suficientemente representativo.

## 8.2 DESARROLLO

### B.2.1 CONDICIONES DE MUESTREO (DATOS DE CAMPO)

DESCRIPCION	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR	OBSERVACIONES
DIAMETRO INTERNO DE LA CHIMENEA.	D.I.	m	0.40	Altura=8.5m
PRESION BAROMETRICA.	Pb	Pa	78128	23.132 inch Hg
TEMPERATURA EN LA CHIMENEA.	Tch	°K	451	178 °C
PRESION ESTATICA EN LA CHIMENEA	Psch	Pa	4.97	0.02 inch H <sub>2</sub> O
TEMPERATURA PROM. DEL GASOMETRO.	Tg	°K	300.78	82°F
PRESION DE VACIO EN EL GASOMETRO.	Pg	Pa	810.6	0.24 inch Hg
PRESION ABS. DEL GASOMETRO	Pb-Pg	Pa	77318	22.892 inch Hg
PESO TOTAL DEL AGUA CAPTADA.	Plac	gr ó cm	25	
FACTOR DE CORRECCION DEL GASOMETRO.	F.C.G.	Adim.	1	
VOLUMEN DE GAS MUESTREADO.	Vm	Lts.	535.2	18.9 Ft <sup>3</sup>
VOLUMEN CORREGIDO.	Vc	Lts.	535.2	

$$V_c = V_m \times F.C.G. = 535.20 \times 1 = \underline{535.20 \text{ Lts.}}$$

FACTOR DE CORRECCION DEL TUBO PITOT.	F.C.T.P.	Adim.	0.965
--------------------------------------	----------	-------	-------

### B.2.2 CALCULO DE LA FRACCION DE HUMEDAD

FRACCION DE GAS HUMEDO.	F.g.h.	Adim.	0.077
-------------------------	--------	-------	-------

$$F.g.h. = \frac{V_v}{V_l} = \frac{V_v}{V_v + V_c}$$

$$F.g.h. = \frac{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times P_{\text{tac}} \times (\text{gHzO}) \frac{T_g(^{\circ}\text{K})}{P_b - P_g(\text{Pa})} \right]}{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times P_{\text{tac}} \times (\text{gHzO}) \frac{T_g(^{\circ}\text{K})}{P_b - P_g(\text{Pa})} \right] + V_c(\text{Lts})}$$

$$F.g.h. = \frac{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times 25 \times (\text{gHzO}) \frac{300.78(^{\circ}\text{K})}{77318.0(\text{Pa})} \right]}{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times 25 \times (\text{gHzO}) \frac{300.78(^{\circ}\text{K})}{77318.0(\text{Pa})} \right] + 535.20(\text{Lts})}$$

$$F.g.h. = \frac{44.7 \text{ Lts}}{44.7 + 535.20} = \underline{0.077}$$

FRACCION DE GAS      F.G.S.      Adim.      0.974  
SECO.

$$F.g.s. = 1 - F.g.h. = 1 - 0.026 = \underline{0.923}$$

### B.2.3 CHEQUEO DE CAMPO DEL PESO MOLECULAR PARA EL CALCULO DE LA DENSIDAD

El peso molecular es usado cuando ocurren cambios sustanciales en la fracción de humedad.

#### FRACCIONES DEL ANALIZADOR DE COMBUSTION (ORSAT)

GAS	FRACCION EN VOLUMEN (%)
CO <sub>2</sub>	8.
O <sub>2</sub>	8.
CO	0.1
SO <sub>2</sub>	0.05
NO <sub>2</sub>	0.009
N <sub>2</sub>	<u>83.841</u> 100 %



DETERMINACION DEL PESO MOLECULAR DEL GAS

$$H_2O = 18 \times F.g.h. = 18 \times 0.077 = 1.386$$

GAS	PM	FRACCION DE GAS		FRACCION DE GAS SECO.	PESO MOLECULAR		
		$\frac{gr}{grmo}$	$\frac{mol}{100 moles}$				
CO <sub>2</sub>	44	x	8.000	x	0.923	324.89600	
O <sub>2</sub>	32	x	8.000	x	0.923	236.28800	
CO	28	x	0.100	x	0.923	2.58400	
SO <sub>2</sub>	64	x	0.050	x	0.923	2.9540	
NO <sub>2</sub>	46	x	0.009	x	0.923	0.3820	
N <sub>2</sub>	28	x	81.85	1	x	0.923	2166.7870

$$PESO MOLECULAR DEL GAS = PM_g = 2733.8910$$

$$PM_g = 27.34 \text{ gr/grmol}$$

DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA

$$G_e = \frac{PM_g}{PM_a} = \frac{27.34}{28.97} = \underline{0.94}$$

PARA LA DENSIDAD DEL CONJUNTO DE GASES

$$\rho = \frac{P_b(ATM) \times PM_g}{R \cdot T_{ch}} = \frac{0.77 \text{ ATM} \times 27.34 \text{ gr/gr mol}}{0.082 \text{ LTS. ATM.} \times 451 \text{ } ^\circ\text{K}} \cdot \frac{\text{grmol}^\circ\text{K}}{\text{grmol}^\circ\text{K}} = \underline{0.569 \text{ gr/LTS.}}$$

$$\rho = 0.569 \text{ gr/LTS.} = \underline{0.569 \text{ Kg/M}^3}$$

B.2.4 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE LOS GASES

DATOS OBTENIDOS DE CAMPO

EQUIPO	N° DE PUNTO TRANSVERSAL	Δp [inch de H <sub>2</sub> O]				PROM.	√ΔP
		I	II	III			
1	1 N-S	0.040	0.045	0.048	0.044	0.210	
	2 N-S	0.048	0.048	0.048	0.048	0.219	

3 N-S	0.048	0.050	0.050	0.049	0.221
4 N-S	0.050	0.050	0.050	0.050	0.224
5 N-S	0.048	0.048	0.048	0.048	0.219
6 N-S	0.048	0.045	0.048	0.047	0.217
7 E-W	0.045	0.048	0.045	0.046	0.214
8 E-W	0.040	0.048	0.040	0.043	0.207
9 E-W	0.048	0.040	0.048	0.045	0.212
10 E-W	0.050	0.050	0.050	0.050	0.224
11 E-W	0.048	0.045	0.048	0.047	0.217
12 E-W	0.045	0.040	0.040	0.042	0.205

$$\Sigma \Delta P = 0.047 \quad \Sigma \sqrt{\Delta P} = 0.216$$

$$\text{PRESION DINAMICA} = \overline{P_d} = \Sigma \Delta P = 0.047 \text{ [inch H}_2\text{O]} = 11.672 \text{ [Pa].}$$

CALCULO DE LA PRESION ABSOLUTA EN LA CHIMENEA

$$P_{ch} = P_{absch} = P_{ach} + P_b = 4.97 \text{ Pa} + 78128 \text{ Pa} = \underline{78133 \text{ [Pa].}}$$

CALCULO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO PRELIMINAR  $V_{ch}$  [m/seg].

$$V_{ch} = 0.077 \text{ F.C.T.P} \sqrt{\frac{P_{ch} \overline{P_d}}{\rho \cdot T_{ch}}}$$

$$V_{ch} = 0.077 \times 0.965 \sqrt{\frac{78133 \times 11.672}{0.569 \times 451}}$$

$$V_{ch} = \underline{4.430 \text{ [m/seg]}}$$

B.2.5 CALCULO DEL GASTO VOLUMETRICO EN LA CHIMENEA

$$A_{ch} = 0.785 (D.I.)^2 = 0.126 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$G_{ch} = V_{ch} A_{ch} \times [60 \text{seg/min}] \times [60 \text{min/Hr}]$$

$$G_{ch} = 4.430 \text{ [m/seg]} \times 0.126 \text{ [m}^2\text{]} \times [60\text{seg/min}] \times [60\text{min/Hr}]$$

$$G_{ch} = \underline{2009.448 \text{ [m}^3\text{/Hr]}}$$

### B.2.6 DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE ISOCINETICIDAD

$$\% \text{ ISO} = \frac{V_{s.B.}}{V_{eq.}} \times (100) = \frac{V_{tch}}{V_{eq.}} \times (100)$$

donde:

$$V_{tch} = V_l \frac{P_b - P_g}{P_{ch}} \frac{T_{ch}}{T_g}$$

$$V_l = V_w + V_c = 44.7 \text{ Lts} + 535.2 \text{ Lts} = \underline{579.9 \text{ Lts}}$$

$$V_{tch} = 579.9 \text{ Lts} \frac{77318.4 \text{ Pa}}{78133 \text{ Pa}} \frac{451 \text{ }^\circ\text{K}}{300.78 \text{ }^\circ\text{K}} = \underline{860.45 \text{ Lts.}}$$

$V_{tch} = \underline{860.45 \text{ Lts.}}$  es el volumen de gas a condiciones de chimenea succionado por la boquilla muestreadora.

Y:

$$V_{eq.} = A_b \times t \times V_{ch}$$

$$V_{eq.} = 71.22 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]} \times 60 \text{ [min]} \times 4.430 \text{ [m/seg]} \left[ \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \right] \left[ \frac{10^3 \text{ Lts}}{1 \text{ m}^3} \right]$$

$V_{eq.} = \underline{1135.82 \text{ Lts.}}$  es el volumen de gas que se debera succionar por la boquilla muestreadora.

Por lo tanto:

$$\% \text{ ISO} = \frac{V_{tch}}{V_{eq.}} \times (100) = \frac{860.45 \text{ Lts}}{1135.82 \text{ Lts}} \times (100) = 110.8\%$$

$$\% \text{ ISO} = 75.75\%$$

como el porcentaje de isocineticidad no se encuentra dentro del rango de entre 90 y 110% se debera proceder a calcular el gasto con que se deben succionar los gases de chimenea, y con este valor se regresará a campo para realizar una prueba definitiva.

### B.2.7 CALCULO DEL GASTO DEL MEDIDOR DE LA PRUEBA

### PRELIMINAR

Para este calculo se debera seleccionar un diametro de boquilla, suponiendo una temperatura en el gasometro algo mayor o igual a la temperatura ambiente, cuando se haya detectado humedad se debera realizar la corrección del gasto del gasometro por humedad, multiplicando  $G_g$  por el factor de gas seco. Para esta determinación exploratoria se realizara la medición en el punto de prueba cuya velocidad se aproxime lo más posible a la velocidad promedio.

$$G_g = A_b V_{ch} \frac{T_g}{T_{ch}} [P_{ch}/P_b - P_g]^* F.g.s.$$

donde:

$$A_b = \text{area de la boquilla en m}^2 = 0.785 (D_b)^2$$

$$A_b = 0.785 (3/8" \times 0.0254)^2 = \underline{71.22 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

\* Siempre que la presión del medidor varíe más del 5% de la presión del conducto, se deberá aplicar la corrección de presión como se observa en la ecuación anterior.

$$G_g = (71.22 \times 10^{-6} \text{ m}^2) (4.43 \text{ m/seg}) \frac{300.78^\circ\text{K}}{451.00^\circ\text{K}} \left[ \frac{78133 \text{ Pa}}{77318.0 \text{ Pa}} \right] \times 0.923$$

$$G_g = \underline{1.963 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}$$

$$G_g = 1.963 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg} [60 \text{ seg/min}] = \underline{0.01178 \text{ m}^3/\text{min.}}$$

$$G_g = 0.01178 \text{ m}^3/\text{min} [1000 \text{ Lts/ 1 m}^3] = \underline{11.78 \text{ Lts/min.}}$$

$$G_g = 11.78 \text{ Lts/min} \times [1 \text{ Ft}^3/28.32 \text{ Lts}] = \underline{0.4158 \text{ Ft}^3/\text{min}}$$

Este valor será el gasto correcto en el gasometro en  $\text{Ft}^3/\text{min}$  para mantener una velocidad a través de la boquilla igual a la velocidad del gas en la chimenea en el plano transversal del puerto de muestreo y en el punto seleccionado de 0.4158

$\text{Ft}^3/\text{min}$  (2.1  $\text{Ft}^3/5\text{min}$ ).

### B.2.8 RESUMEN DE LOS DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR

$V_c$ = VOLUMEN DEL GAS MUESTREADO MEDIDO EN EL GASOMETRO.	<u>535.2Lts</u>
$F_r$ = PESO DEL POLVO RETENIDO	<u>0.1637gr</u>
$T_g$ = TEMP. PROM. DEL GASOMETRO	<u>300.78°K</u>
$F_g$ = VACIO PROMEDIO EN EL GASOMETRO	<u>810.6Pa</u>
$V_{\text{vac}}$ = VOLUMEN TOTAL DE AGUA CONDENSADA	<u>25gr ó <math>\text{cm}^3</math></u>

### B.2.9 CALCULO DEL GASTO DEL MEDIDOR EN LA PRUEBA DEFINITIVA

Los datos obtenidos en la prueba definitiva después de haber muestreado nuevamente con el gasto sugerido de 0.4158  $\text{Ft}^3/\text{min}$  son los siguientes:

$$P_{ch} = 78133 \text{ [Pa].}$$

$$T_g = 300.78 \text{ [°K]}$$

$$T_{ch} = 451 \text{ [°K]}$$

$$P_d = 0.047 \text{ inch de H}_2\text{O} = 11.672 \text{ [Pa].}$$

$$P_b - P_g = 77318.0 \text{ [Pa].}$$

$$F_r = 0.2151 \text{ [gr]}$$

$$V_c = 706.80 \text{ [Lts].}$$

$$V_{\text{vac}} = 32.86 \text{ [gr]}$$

$$F.g.h. = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_v}{V_v + V_c}$$

$$F.g.h. = \frac{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times P_{\text{fac}} \times (\text{gHzO}) \frac{T_g(^{\circ}\text{K})}{P_b - P_g(\text{Pa})} \right]}{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times P_{\text{fac}} \times (\text{gHzO}) \frac{T_g(^{\circ}\text{K})}{P_b - P_g(\text{Pa})} \right]} + V_c(\text{Lts})$$

$$F.g.h. = \frac{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times 32.86 \times (\text{gHzO}) \frac{300.78(^{\circ}\text{K})}{77318.0(\text{Pa})} \right]}{\left[ 460.1 \frac{\text{Lts.}}{\text{gHzO}} \times 32.86 \times (\text{gHzO}) \frac{300.78(^{\circ}\text{K})}{77318.0(\text{Pa})} \right]} + 706.8(\text{Lts})$$

$$F.g.h. = \frac{58.82 \text{ Lts}}{(58.82 + 706.80) \text{ Lts}} = \underline{0.077}$$

$$F.g.s. = 1 - F.g.h. = 1 - 0.077 = \underline{0.923}$$

$$\rho = \frac{P_b(\text{ATM}) \times P_{Mg}}{R T_{ch}} = \underline{0.569 \text{ gr/Lts.}}$$

$$V_{ch} = 0.077 \text{ F.C.T.F} \sqrt{\frac{P_{ch} P_d}{\rho T_{ch}}}$$

$$V_{ch} = 0.077 \times 0.965 \sqrt{\frac{78133 \times 28.560}{0.569 \times 451}}$$

$$V_{ch} = \underline{4.430 \text{ [m/seg]}}$$

$$A_{ch} = 0.785 (D.I.)^2 = 0.126 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$G_{ch} = V_{ch} A_{ch} \times [60 \text{ seg/min}] \times [60 \text{ min/Hr}]$$

$$G_{ch} = 4.430 \text{ [m/seg]} \times 0.126 \text{ [m}^2\text{]} \times [60 \text{ seg/min}] \times [60 \text{ min/Hr}]$$

$$G_{ch} = \underline{2009.448 \text{ [m}^3\text{/Hr]}}$$

$$\% \text{ ISO} = \frac{V.S.B.}{V_{eq.}} \times (100) = \frac{V_{ch}}{V_{eq.}} \times (100)$$

donde:

$$V_{ch} = V_l \frac{P_b - P_g T_{ch}}{P_{ch} T_g}$$

$$V_l = V_v + V_c = 58.82 \text{ Lts} + 706.8 \text{ Lts} = \underline{765.62 \text{ Lts}}$$

$$V_{ch} = 765.62 \text{ Lts} \frac{77318.0 \text{ Pa}}{78133 \text{ Pa}} \frac{451 \text{ }^\circ\text{K}}{300.78 \text{ }^\circ\text{K}} = \underline{1136.02 \text{ Lts.}}$$

$V_{ch} = \underline{1136.02 \text{ Lts.}}$  es el volumen de gas a condiciones de chimenea succionado por la boquilla muestreadora.

y:

$$V_{eq.} = A_b \times t \times V_{ch}$$

$$V_{eq.} = 71.22 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)} \cdot 60 \text{ (min)} \cdot 4.430 \text{ (m/seg)} \left[ \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \right] \left[ \frac{10^3 \text{ Lts}}{1 \text{ m}^3} \right]$$

$V_{eq.} = \underline{1135.82 \text{ Lts.}}$  es el volumen de gas que se debiera succionar por la boquilla muestreadora.

Por lo tanto:

$$\% \text{ ISO} = \frac{V_{ch}}{V_{eq.}} \times (100) = \frac{1136.02 \text{ Lts}}{1135.82 \text{ Lts}} \times (100) = 100.018 \%$$

$$\% \text{ ISO} = 100.018 \%$$

con lo el porcentaje de isocineticidad se encuentra dentro del rango de entre 90 y 110 % .

A continuacion se verifica el gasto que debe indicar la caratula del medidor de gas.

$$G_g = A_b V_{ch} \frac{T_g}{T_{ch}} [P_{ch}/P_b - P_g] \cdot F.g.s.$$

$$A_b = 0.785 (3/8" \times 0.0254)^2 = \underline{71.22 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$G_g = (71.22 \times 10^{-6} \text{ m}^2) (4.430 \text{ m/seg}) \frac{300.78 \text{ }^\circ\text{K}}{451.00 \text{ }^\circ\text{K}} \left[ \frac{78133 \text{ Pa}}{77318.0 \text{ Pa}} \right] \times 0.923$$

$$G_g = \underline{1.963 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}$$

$$G_g = 1.963 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg} [60 \text{ seg/min}] = \underline{0.01178 \text{ m}^3/\text{min.}}$$

$$G_g = 0.01178 \text{ m}^3/\text{min} [1000 \text{ Lts/ 1 m}^3] = \underline{11.78 \text{ Lts/min.}}$$

$$G_g = 11.78 \text{ Lts/min} \times [1 \text{ Ft}^3/28.32 \text{ Lts}] = \underline{0.4160 \text{ Ft}^3/\text{min}}$$

Este valor es el gasto correcto en el gasometro en  $\text{Ft}^3/\text{min}$  para mantener una velocidad a través de la boquilla igual a la velocidad del gas en la chimenea en el plano transversal

del puerto de muestreo y en el punto seleccionado de 0.4160 Ft<sup>3</sup>/min (2.08 Ft<sup>3</sup>/5min).

Por lo tanto, si el ajuste del gasto del gasometro se realizo entre 0.4000 Ft<sup>3</sup>/min y 0.4320 Ft<sup>3</sup>/min, los datos obtenidos en la prueba definitiva son considerados buenos y representativos del proceso muestreado.

#### 8.2.10 RESUMEN DE LOS DATOS DE LA PRUEBA DEFINITIVA

Vcd= VOLUMEN DEL GAS MUESTREADO MEDIDO EN EL GASOMETRO.	<u>706.8 Lts</u>
Tg = TEMP. PROM. DEL GASOMETRO	<u>300.78°K</u>
Pb = PRESION BAROMETRICA	<u>78128Pa</u>
Pg = VACIO PROMEDIO EN EL GASOMETRO	<u>810.6 Pa</u>
Pb-Pg = PRESION ABSOLUTA EN EL GASOMETRO	<u>77318 Pa</u>
Vtac = VOLUMEN TOTAL DE AGUA CONDENSADA	<u>32.86gr ó cm<sup>3</sup></u>
Pr = PEGO DEL POLVO RETENIDO	<u>0.2151 gr</u>

#### 8.2.11 CALCULO DE LA CONCENTRACION DEL POLVO RETENIDO

$$C_p = \frac{Pr}{V_t} = \frac{0.2151 \text{ gr} \left[ \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ gr}} \right]}{706.8 \text{ Lts} \left[ \frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ Lts}} \right]} = \underline{304.33 \text{ [mg/m}^3\text{]}}$$

#### 8.2.12 CALCULO DE LA EMISION POR CHIMENEA

$$E = G_{ch} \text{ (m}^3\text{/Hr)} C_p \text{ (mg/m}^3\text{)} \times \left[ \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \right]$$

$$E = 2009.448 \text{ [m}^3\text{/Hr]} 304.33 \text{ [mg/m}^3\text{]} \left[ \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \right] = \underline{0.6115 \text{ [Kg/Hr]}}$$



B.2.13 CALCULO DE LA CONCENTRACION EQUIVALENTE DE PARTICULAS

$$C.E. = \frac{E}{\text{CONSUMO DE COMBUSTIBLE}} = \frac{0.6115 \text{ [Kg/hr]}}{0.1700 \text{ [m}^3\text{/Hr]}} = \underline{3.597 \text{ [Kg/m}^3\text{]}}$$

$$C.E. = 3.597 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

B.2.14 CALCULO DE LA CONCENTRACION EQUIVALENTE PARA CADA GAS

Para cada gas por separado se determina:

la densidad,

$$\rho = \frac{P_b \text{ (ATM)} \times PM_g}{X \cdot T_{ch}} = \frac{0.77 \text{ ATM} \cdot 44.00 \text{ gr/gr mol}}{0.082 \text{ LTS} \cdot \text{ATM} \cdot 451 \text{ }^\circ\text{K}} = \underline{0.916 \text{ gr/LTS.}}$$

$$\rho = 0.916 \text{ [gr/LTS]} = 0.916 \text{ [mg/mlts]}$$

la concentración,

$$C = \rho \text{ (mg/mlts)} \times \frac{\text{FRACCION DEL ANALIZADOR DE GASES. (X)}}{\text{FRACCION DEL ANALIZADOR DE GASES. (X)}} \times \left[ \frac{10^4 \text{ mlts/m}^3}{1 \%} \right]$$

$$C = 0.916 \text{ [mg/mlts]} \times 8 \% \times \left[ \frac{10^4 \text{ mlts/m}^3}{1 \%} \right] = 73289.71 \text{ [mg/m}^3\text{]}$$

la emisión,

$$E = C \text{ (mg/m}^3\text{)} \cdot G_{ch} \text{ (m}^3\text{/Hr)} \times \left[ \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \right]$$

$$E = 73289.71 \text{ [mg/m}^3\text{]} \cdot 2009.448 \text{ [m}^3\text{/Hr]} \left[ \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \right] = \underline{147.27 \text{ [Kg/Hr]}}$$

la concentración equivalente,

$$C.E. = \frac{E}{\text{CONSUMO DE COMBUSTIBLE}} = \frac{147.27 \text{ [Kg/Hr]}}{0.1700 \text{ [m}^3\text{/Hr]}} = \underline{866.30 \text{ [Kg/m}^3\text{]}}$$

C.E. = 866.30 [Kg/m<sup>3</sup>]

GAS	PM	FRACCION DE GAS	DENSIDAD DE CADA GAS.	CONCEN-TRACION [mg/m <sup>3</sup> ]	EMISION [Kg/Hr]	C. EQUIVALENTE [Kg/m <sup>3</sup> ]
	g <sup>r</sup> / grmol	mol / 100 moles				

CO <sub>2</sub>	44	8	0.916	73289.7	147.27	866.30
O <sub>2</sub>	32	8	0.666	53301.6	107.11	630.04
CO	28	0.1	0.582	582.9	1.71	6.89
SO <sub>2</sub>	64	0.05	1.332	666.27	1.34	7.87
NO <sub>2</sub>	46	0.009	0.957	86.20	0.17	1.01
N <sub>2</sub>	28	83.841	0.582	489781.56	982.18	5777.54

**B.2.15 COMPARACION DE LOS RESULTADOS CONTRA LA NORMA (NTE-CCAT-005) PARA DIESEL.**

CONTAMINANTES	N.M.P.E.A.		
	Zona critica kg/m <sup>3</sup>	Resto del país kg/m <sup>3</sup>	CONCENTRACION EQUIVALENTE. [Kg/m <sup>3</sup> ]
Partículas	0.260	0.300	3.597 *
Monóxido de carbono	0.600	0.665	6.89 *
Bióxido de azufre	17.000	34.000	7.87 **
Oxido de nitrógeno <sup>b</sup>	2.700	3.000	1.01 **

<sup>a</sup> KILOGRAMOS DE CONTAMINANTES POR CADA METRO CUBICO DE DIESEL CONSUMIDO A 298°K (25°C)

<sup>b</sup> LOS OXIDOS DE NITROGENO EXPRESADOS COMO BIOXIDO DE NITROGENO.

\* FUERA DE NORMA

\*\* DENTRO DE NORMA

## PROGRAMA DE COMPUTO

LISTADO PROGRAMA A

```

10 REM PROGRAMA PARA INSTALACION DE PUERTOS DE MUESTREO Y NUMERO DE
20 REM PUNTOS A MUESTREAR EN DUCTOS CIRCULARES
30 REM DATOS DE LA IDENTIFICACION DE LA FUENTE EMISORA
40 INPUT " A.-RAZON SOCIAL ";A$
50 INPUT " B.-FUENTE EMISORA";B$
60 INPUT " C.-NUMERO ECONOMICO";C$
70 INPUT " D.-FECHA";D$
80 PRINT
90 PRINT
100 PRINT
110 PRINT " IDENTIFICACION DE LA FUENTE EMISORA"
120 PRINT
130 PRINT
140 PRINT " RAZON SOCIAL.....";A$
150 PRINT
160 PRINT " FUENTE EMISORA.....";B$
170 PRINT
180 PRINT " NUMERO ECONOMICO.....";C$
190 PRINT
200 PRINT " FECHA DE MUESTREO.....";D$
210 PRINT
220 PRINT
230 PRINT
240 PRINT
250 PRINT
260 INPUT "DIAMETRO (EN METROS) D=";D
270 INPUT "ALTURA TOTAL DE LA CHIMENEA (EN METROS) L=";L
280 LET ND=L/D
290 PRINT " DIMENSIONES DE CHIMENEA"
300 PRINT
310 PRINT
320 PRINT " DIAMETRO DEL DUCTO.....";D
330 PRINT
340 PRINT " ALTURA TOTAL DE LA CHIMENEA .....";L
350 PRINT
360 PRINT " NUMERO DE DIAMETROS OBTENIDOS.....";ND
370 PRINT
380 PRINT
390 PRINT
400 PRINT
470 LET J=100
480 LET Y=0
490 LET X=0
500 IF ND=10 THEN G10
510 IF ND=9.100001 THEN G50
520 IF ND=8.3 THEN G60
530 IF ND=7.5 THEN G70
540 IF ND=6.7 THEN G70
550 IF ND=5.8 THEN G80
560 IF ND=5.1 THEN G80
570 IF ND=4.2 THEN G90

```

```

570 IF ND=4.2 THEN 890
580 IF ND=3.4 THEN 930
590 IF ND=2.5 THEN 970
600 IF ND=2.5 THEN 1010
610 LET A=D*2
620 LET B=D*8
630 LET NM=12
640 GOTO 1070
650 LET AF=D*1.8
660 LET BF=D*7.3
670 LET NM=16
680 GOTO 1030
690 LET AF=D*1.6
700 LET BF=D*6.7
710 LET NM=20
720 GOTO 1030
730 LET AF=D*1.5
740 LET BF=D*6
750 LET NM=24
760 GOTO 1030
770 LET AF=D*1.3
780 LET BF=D*5.4
790 LET NM=28
800 GOTO 1030
810 LET AF=D*1.2
820 LET BF=D*4.6
830 LET NM=32
840 GOTO 1030
850 LET AF=D*1
860 LET BF=D*4
870 LET NM=36
880 GOTO 1030
890 LET AF=D*.8
900 LET BF=D*3.4
910 LET NM=40
920 GOTO 1030
930 LET AF=D*.7
940 LET BF=D*2.7
950 LET NM=44
960 GOTO 1030
970 LET AF=D*.5
980 LET BF=D*2!
990 LET NM=48
1000 GOTO 1030
1010 PRINT " NO EXISTE SOLUCION"
1020 GOTO 1550
1030 LET LF=AF+BF
1040 LET DA=L-LF
1050 A=AF+DA*.2
1060 B=BF+DA*.8

```

```

1000 PRINT "      I      I  ----SALIDA A LA ATMOSFERA      "
1080 PRINT "      I      I  "
1090 PRINT "      I      I  "
1100 PRINT "      A      I      I  "
1110 PRINT "      I      I      I  "
1120 PRINT "      I      I      I  PUERTO
1130 PRINT "      I      I      I  DE
1140 PRINT "      I      I      I  MUESTREO
1150 PRINT "      I      I      I  "
1160 PRINT "      I      I      I  "
1170 PRINT "      I      I      I  A=";A;" METROS"
1180 PRINT "      I      I      I  "
1190 PRINT "      B      I      I      I  B=";B;" METROS"
1200 PRINT "      I      I      I  "
1210 PRINT "      I      I      I  "
1220 PRINT "      I      I      I  "
1230 PRINT "      I      I      I  "
1240 PRINT "      ULTIMA      I      I  "
1250 PRINT "      PENTUR-    I      I  "
1260 PRINT "      VACION     J      I  "
1270 PRINT "      I      I      I      I  ( ( ( --FLUJO DE GASES-- ( ( ( "
1280 PRINT "      I      I      I      I  "
1380 LET SS=NH*2
1390 LET S=NH*10
1400 PRINT "      PUNTOS TRANSVERSALES.....",SS
1430 PRINT "      N-S","E-W"
1435 PRINT "
1440 PRINT "      PUNTO","DISTANCIA","PUNTO","DISTANCIA","PORCENTAJE"
1450 READ Z
1460 IF Z=S THEN 1490
1470 GOTO 1450
1490 READ Z
1495 IF Z=999 THEN 1550
1500 LET P=(Z*U)/J
1510 LET X=X+1
1520 PRINT "      ";X,P,X,P,Z
1530 PRINT "
-----
1540 GOTO 1490
1555 END
1560 DATA 120,4.4,14.7,29.5,70.5,85.5,95.6,999
1570 DATA 160,3.3,10.5,19.4,32.3,67.7,80.6,89.5,96.7,999
1580 DATA 200,2.5,8.2,14.6,22.6,34.2,65.8,77.4,85.4,91.8,97.5,999
1610 DATA 320,1.6,4.9,8.5,12.5,16.9,22.0,28.3,37.5,62.5,71.7,78.0
1620 DATA 83.1,87.5,91.5,95.1,98.4,999
1630 DATA 360,1.4,4.4,7.5,10.9,14.6,18.8,23.6,29.6,38.2,61.8,70.4,76.4
1640 DATA 81.2,85.4,89.1,92.5,95.6,98.6,999
1650 DATA 400,1.3,3.9,6.7,9.7,12.9,16.5,20.4,25.0,30.6,38.8,68.2,69.4,75.0
1670 DATA 79.6,83.5,87.1,90.3,93.3,96.1,98.7,999
1680 DATA 440,1.1,3.5,6.0,8.7,11.6,14.6,18.0,21.8,26.1,31.5,39.3,60.7,68.5
1690 DATA 73.9,78.2,82.0,85.4,88.4,91.3,94.0,96.5,98.9,999
1700 DATA 480,1.1,3.1,5.3,7.9,10.3,13.2,16.2,19.4,23.0,27.2,32.3,39.3,60.2
1710 DATA 67.3,72.4,77.0,80.0,83.9,86.8,89.5,92.1,94.5,96.8,98.9,999
1720 DATA 240,2.1,6.7,11.8,17.7,25.3,35.5,64.5,75.8,82.3,88.2,09.3,97.9,999

```

LISTADO PROGRAMA B

```

100 REM PROGRAMA PARA LA EVALUACION DE EMISIONES Y CONCENTRACIONES
110 REM GENERADAS POR PROCESOS DE COMBUSTION EN LAS INDUSTRIAS
120 REM METAL-MECANICAS
1000 REM EN ESTA PARTE SE INTRODUCEN TODOS LOS
1010 REM DATOS OBTENIDOS DEL MUESTREO
1020 REM DATOS DE LA IDENTIFICACION DE LA FUENTE
1030 INPUT "A.- RAZON SOCIAL:";A$
1040 INPUT "B.- FUENTE:";B$
1050 INPUT "C.- NUMERO:";C$
1060 INPUT "D.- FECHA:";D$
1070 INPUT "E.- ALTURA DEL PUERTO DE MUESTREO EN METROS:";H
1080 REM IMPRESION DE IDENTIFICACION DE FUENTE
1085 LPRINT
1090 LPRINT
1100 LPRINT " IDENTIFICACION DE FUENTE EMISORA:"
1110 LPRINT
1111 LPRINT
1112 LPRINT
1120 LPRINT " RAZON SOCIAL.....";A$
1130 LPRINT
1140 LPRINT " FUENTE EMISORA.....";B$
1150 LPRINT
1160 LPRINT " NUMERO.....";C$
1170 LPRINT
1200 LPRINT " FECHA DE MUESTREO.....";D$
1210 LPRINT
1220 LPRINT " ALTURA DEL PUERTO.EN MTR.:";H
1300 REM DATOS DE CAPTACION
1310 INPUT "DIAMETRO DE BOQUILLA EN PULGADAS:";DB
1320 INPUT "FOLIO DEL FILTRO ";FOLIO
1330 INPUT "PESO INICIAL DEL FILTRO EN GRAMOS:";PINI
1340 INPUT " PESO FINAL DEL FILTRO EN GRAMOS:";PFIN
1350 LET PP=PFIN-PINI
1360 LET PPMG=PP*1000
1370 LPRINT
1375 LPRINT
1380 LPRINT
1390 LPRINT " DATOS DE CAPTACION DE PARTICULAS"
1400 LPRINT
1410 LPRINT
1420 LPRINT " DIAMETRO DE BOQUILLA.....";DB;"PULG"
1430 LPRINT
1440 LPRINT " FOLIO DEL FILTRO.....";FOLIO
1450 LPRINT
1460 LPRINT " PESO INICIAL DEL FILTRO.....";PINI;"Gr."
1470 LPRINT
1480 LPRINT " PESO FINAL DEL FILTRO.....";PFIN;"Gr."
1490 LPRINT
1500 LPRINT " PESO DE PARTICULAS.....";PP;"Gr."
1501 REM
1510 REM DATOS DEL APARATO ORZAT
1520 INPUT "BIOXIDO DE CARBONO EN%:";COD
1530 INPUT "OXIGENO EN %:";OD
1540 INPUT "MONOXIDO DE CARBONO EN %:";CO
1541 INPUT " BIOXIDO DE AZUFRE EN %:";SOD
1542 INPUT " BIOXIDO DE NITROGENO EN %:";NOD

```

1586 LPRINT " DATOS DEL ANALIZADOR DE GASES"  
1590 LPRINT  
1600 LPRINT  
1610 LPRINT " BIOXIDO DE CARBONO.....":COD,"%"  
1620 LPRINT  
1630 LPRINT " OXIGENO.....":OD,"%"  
1640 LPRINT  
1650 LPRINT " MONOXIDO DE CARBONO .....":CO,"%"  
1660 LPRINT  
1661 LPRINT " BIOXIDO DE AZUFRE.....":SOD,"%"  
1662 LPRINT  
1700 REM DATOS DEL CONDENSADOR  
1710 INPUT " PESO TOTAL DEL AGUA CAPTADA EN GRAMOS":PTAC  
1720 LPRINT " DATOS DEL CONDENSADOR "  
1730 LPRINT  
1740 LPRINT  
1750 LPRINT " PESO TOT DEL AGUA CAPTADA.....":PTAC,"G"  
1800 REM DATOS DEL GASOMETRO  
1810 INPUT "TEMPERATURA INICIAL DEL GASOMETRO EN KELVIN":TGI  
1820 INPUT "TEMPERATURA FINAL DEL GASOMETRO EN KELVIN":TGF  
1830 INPUT "PRESION EN EL GASOMETRO EN PASCALES":PG  
1840 INPUT "LECTURA INICIAL DEL GASOMETRO EN PIES":VIG  
1850 INPUT "LECTURA FINAL DEL GASOMETRO EN PIES":VFG  
1855 VIG=VIGP\*28.37  
1856 VFG=VFGP\*28.37  
1860 INPUT "TIEMPO DEL MUESTREO EM MINUTOS":TIEMPO  
1870 INPUT "FACTOR DE CORRECCION DEL GASOMETRO ":FCG  
1885 LPRINT " DATOS DEL GASOMETRO"  
1890 LPRINT  
1900 LPRINT  
1910 LPRINT " TEMPERATURA INICIAL DEL GASOMETRO.....":TGI,"K"  
1920 LPRINT  
1930 LPRINT " TEMPERATURA FINAL DEL GASOMETRO.....":TGF,"K"  
1940 LPRINT  
1950 LPRINT " PRESION DEL GASOMETRO .....":PG,"PASC."  
1960 LPRINT  
1961 LPRINT " LECTURA INICIAL EN EL GASOMETRO.....":VIGP,"FT3"  
1962 LPRINT  
1963 LPRINT " LECTURA FINAL EN EL GASOMETRO.....":VFGP,"FT3"  
1964 LPRINT  
1970 LPRINT " TIEMPO DE MUESTREO .....":TIEMPO,"Min"  
1980 LPRINT  
1981 REM  
1990 LPRINT " F. C. GASOMETRO .....":FCG  
2000 REM DATOS DE LA CHIMENEA  
2010 INPUT "FACTOR DE CORECCION DEL TUBO PITOT":FCTP  
2020 INPUT "TEMPERATURA PROMEDIO DE LA CHIMENEA EN KELVIN":TCHA  
2030 INPUT "PRESION ESTATICA DE LA CHIMENEA EN PASCALES":PSCH  
2040 INPUT "PRESION BAROMETRICA EN PASCALES":PB  
2050 INPUT "NUMERO DE PUNTOS A MUESTREAR":NP  
2060 INPUT "DIAMETRO DE LA CHIMENEA EN METROS":DCH  
2100 LPRINT " DATOS DE CHIMENEA"  
2110 LPRINT  
2120 LPRINT  
2130 LPRINT " F. C. TUBO PITOT.....":FCTP  
2140 LPRINT  
2150 LPRINT " TEMPERATURA DE CHIMENEA.....":TCHA,"K"



```

2160 LPRINT
2170 LPRINT " PRESION ESTATICA....." :PSPCH,"PASCALES"
2180 LPRINT
2190 LPRINT " PRESION BAROMETRICA....." :PBP,"PASCALES"
2200 LPRINT
2210 LPRINT " DIAMETRO DEL DUCTO....." :PBDCH,"MT"
2220 LPRINT
2230 LPRINT " No. DE PUNTOS A MUESTREAR....." :PNP
2300 REM DATOS DEL COMBUSTIBLE
2301 PRINT "COMBUSTIBLE UTILIZADO:
2302 PRINT "          1 DIESEL"
2303 PRINT "          2 CARBON"
2304 PRINT "          3 GAS NATURAL"
2305 PRINT "          4 COMBUSTOLEO"
2306 PRINT "          5 OTRO"
2307 PRINT "ANOTE SOLO EL NUMERO CORRESPONDIENTE"
2308 PRINT "AL COMBUSTIBLE UTILIZADO"
2309 LPRINT
2310 INPUT "COMBUSTIBLE UTILIZADO " :COMB
2355 LPRINT " DATOS DEL COMBUSTIBLE UTILIZADO"
2357 LPRINT
2360 LPRINT
2362 IF COMB=1 THEN 2372
2364 IF COMB=2 THEN 2374
2366 IF COMB=3 THEN 2376
2368 IF COMB=4 THEN 2378
2370 IF COMB=5 THEN 2380
2372 LPRINT " COMBUSTIBLE UTILIZADO..... DIESEL"
2373 GOTO 2400
2374 LPRINT " COMBUSTIBLE UTILIZADO..... CARBON"
2375 GOTO 2400
2376 LPRINT " COMBUSTIBLE UTILIZADO..... GAS NATURAL"
2377 GOTO 2400
2378 LPRINT " COMBUSTIBLE UTILIZADO..... COMBUSTOLEO"
2379 GOTO 2400
2380 LPRINT " COMBUSTIBLE UTILIZADO..... OTRO"
2400 LPRINT
2402 LPRINT
2410 LPRINT " CONSUMO DE COMBUSTIBLE....." :CCOMB,"M3/Hr"
3000 REM CALCULO DE LA FRACCION DE GAS SECO
3010 LET TGA=(TGI+TGF)/2
3030 LET PGA=PB-PG
3040 LET VMC=(VFG-VIG)*FCG
3060 LET VCL=460.1*PTAC*(TGA/PGA)
3070 LET FGH=VCL/(VCL+VMC)
3080 LET FGS=1-FGH
3099 LPRINT " CALCULO DE LA FRACCION DE GAS SECO"
3100 LPRINT
3110 LPRINT
3120 LPRINT " TEMPERATURA DEL GASOMETRO ..... " :TGA,"K"
3130 LPRINT
3140 LPRINT " PRESION ABSOLUTA EN EL GASOMETRO....." :PGA,"Pa"
3150 LPRINT
3160 LPRINT " VOLUMEN MEDIDO EN EL GASOMETRO....." :VMC,"Lt"
3170 LPRINT
3180 LPRINT " VOLUMEN DE AGUA EN GAS ..... " :VCL,"Lt"

```

```

3300 REM CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA
3310 REM Y DENCIDAD DE LOS GASES
3320 LET FCOD=COD/100
3330 LET FCO=CO/100
3340 LET FOD=OD/100
3342 LET FSOD=SOD/100
3344 LET FFNO2=NO2/100
3350 LET NDD=100-(COD+OD+CO+SOD+NOD)
3360 LET FFND=NDD/100
3361 REM FND=NDD/100
3370 LET PMHDO=18*FGH
3380 PMA=28.97
3390 LET PMCOD=44*FGS*FCOD
3400 LET PMCO=28*FGS*FCO
3410 LET PMOD=32*FGS*FOD
3420 LET PMND=28*FGS*FFND
3422 PMSOD=64*FGS*FSOD
3424 PMNOD=46*FGS*FFNO2
3430 LET PMG=PMCOD+PMCO+PMOD+PMND+PMSOD+PMNOD
3440 LET GE=PMG/PMA
3450 LET R=.082
3460 LET PATM=PB/101325
3470 LET D=(PATM*PMG)/(R*TCHA)
3480 LPRINT "...CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA"
3490 LPRINT " Y LA DENCIDAD DE LOS GASES"
3500 LPRINT
3510 LPRINT
3520 LET W$="GR/GRMOL"
3530 LPRINT " FRACCION DE CO2.....":FCOD
3540 LPRINT
3550 LPRINT " FRACCION DE CO.....":FCO
3560 LPRINT
3570 LPRINT " FRACCION DE O2.....":FOD
3580 LPRINT
3590 LPRINT " FRACCION DE SOD.....":FSOD
3600 LPRINT
3602 LPRINT " FRACCION DE NO2.....":FFNO2
3604 LPRINT
3606 LPRINT " FRACCION DE N2.....":FFND
3607 LPRINT
3610 LPRINT " PESO MOLECULAR H2O .....":PMHDO,W$:"(1)"
3620 LPRINT
3630 LPRINT " PESO MOLECULAR DEL AIRE.....":PMA,W$
3640 LPRINT
3650 LPRINT " PESO MOLECULAR DEL CO2.....":PMCOD,W$:"(1)"
3660 LPRINT
3670 LPRINT " PESO MOLECULAR DEL O2.....":PMOD,W$:"(1)"
3680 LPRINT
3690 LPRINT " PESO MOLECULAR DEL CO.....":PMCO,W$:"(1)"
3700 LPRINT
3710 LPRINT " PESO MOLECULAR DEL SO2.....":PMSOD,W$:"(1)"
3712 LPRINT
3714 LPRINT " PESO MOLECULAR DEL NO2.....":PMNOD,W$:"(1)"
3716 LPRINT
3718 LPRINT " PESO MOLECULAR DEL N2.....":PMND,W$

```

```

3740 LPRINT " PESO MOLECULAR DEL GAS.....PMG,W5
3750 LPRINT " GRAVEDAD ESPECIFICA.....GGE
3760 LPRINT
3770 LPRINT " DENSIDAD DEL GAS .....DGD,"KG/M3"
4000 REM CALCULO DE LA RELACION AIRE COMBUSTIBLE
4010 CQ=NDU
4020 DQ=CQ/3.76
4030 EQ=2*(DQ-(COD+(CO/2)+OD))
4040 AQ=COD+CO
4050 BQ=2*EQ
4060 ACR=((DQ+CQ)*PMA)/((AQ*12)+(BQ*1))
4070 DDQ=BQ/2
4080 BBQ=AQ+(DDQ/2)
4090 CCQ=3.76*BBQ
4100 ACT=((BBQ+CCQ)*PMA)/((AQ*12)+(BQ*1))
4110 FAC=ACR/ACT
4120 PAS= FAC*100
4160 LPRINT " CALCULO DE LA RELACION AIRE COMBUSTIBLE"
4170 LPRINT
4180 LPRINT
4190 LPRINT " AIRE-COMBUSTIBLE REAL.....":ACR,"Kgaire/Kgcomb"
4200 LPRINT
4210 LPRINT " AIRE-COMBUSTIBLE TEORICO .....":ACT,"Kgaire/kgcomb"
4220 LPRINT
4230 LPRINT " % DE AIRE EN LA COMBUSTION.....":PAS,"%"
4240 IF PAS <=100 THEN 4290
4250 EAQ=PAS-100
4260 LPRINT
4270 LPRINT " EXCESO DE AIRE EN LA COMBUSTION.:EAQ,"%"
4280 GOTO 4320
4290 DAQ=100-PAS
4300 LPRINT
4310 LPRINT " DEFICIENCIA DE AIRE EN LA COMBUSTION":DAQ
5000 REM CALCULO DEL PERFIL DE VELOCIDADES
5020 PSCHA=PSCH*1248.34
5030 PCHA=PSCH+PB
5050 LPRINT " CALCULO DEL PERFIL DE VELOCIDADES"
5060 K=.077
5080 LPRINT
5085 LPRINT
5090 LPRINT " PRESION ABSOLUTA DE CHIMENEA.....":PCHA,"Pa"
5130 LPRINT "
-----"
5140 LPRINT
5145 LPRINT " PUNTO Pd. Pd*.05 VCH"
5150 LPRINT "
"
5160 LPRINT " NO. Pulg H2O Pa*.5 M/S"
5170 LPRINT
5180 LET M=0
5190 LET M=M+1
5200 PRINT "PUNT":M
5210 INPUT "PRESION DINAMICA EN PULG H2O":PD
5220 PDPA=PD*248.34
5230 XX=SQR(PD)
5235 YY=SQR(PDPA)
5240 VCH=K*FCTP*SQR((PCHA*PDPA)/(D*TCHA))
5250 PDPAS=PDPAS+PDPA

```

```

5260 VCHS=VCHS*VCH
5265 YYS=YYS+YY
5270 LPRINT "          "M,          "PD:"          "YY:"          "VCH
5280 IF M=NP THEN 5300
5290 GOTO 5190
5300 LPRINT "
-----"
5310 VCHSS=VCHS/M
5315 PDSS=PDFAS/M
5318 YYSS=YYS/M
5319 ACH=785*DCH/2
5320 GCH=VCHSS*ACH
5321 GCHM=GCH*60
5322 GCHH=GCHM*60
5323 LPRINT
5330 LPRINT "  PRESION DINAMICA PROMEDIO.....";PDSS,"Pa"
5340 LPRINT
5350 LPRINT "  PRESION DINAMICA PROMEDIO 0.5.....";YYSS,"PA0.5"
5355 LPRINT
5356 LPRINT "  VELOCIDAD DE CHIMENEA PROMEDIO.....";VCHSS,"M/SEG"
5360 LPRINT
5370 LPRINT "  AREA DE CHIMENEA.....";ACH,"M2"
5380 LPRINT
5390 LPRINT "  GASTO DE CHIMENEA.....";GCH,"M3/SEG"
5394 LPRINT
5395 LPRINT "  GASTO DE CHIMENEA.....";GCHM,"M3/MIN"
5396 LPRINT
5397 LPRINT "  GASTO DE CHIMENEA.....";GCHH,"M3/HR"
5398 LPRINT
5399 LPRINT
5400 REM ISOCINETISMO
5410 AB=((DB*.0254)^2)*.785
5420 ABM=AB
5430 GG=((ABM*VCHSS*TGA*PCHA*FGS)/(TCHA*PGA))
5435 GGY=GG*1000*60
5440 VTOT=VCL+VMC
5450 GGR=VTOT/TIEMPO
5460 VSB=(VMC*TCHA*PGA)/(FGS*TGA*PCHA)
5470 VSBP=VSB*35.31
5480 VQSM=ABM*TIEMPO*60*VCHSS*1000
5490 ISO=(VSB*100)/VQSM
5507 LPRINT "  ISOCINETISMO"
5510 LPRINT
5520 LPRINT
5525 LPRINT "  AREA DE BOQUILLA.....";ABM,"MTZ"
5530 LPRINT
5540 LPRINT "  GASTO A MEDIR EN EL GASOMETRO.....";GGY,"LT/MIN"
5550 LPRINT
5560 LPRINT "  GASTO MEDIDO EN EL GASOMETRO.....";GGR,"LT/MIN"
5570 LPRINT
5580 LPRINT "  VOL SUCCIONADO EN LA BOQUILLA.....";VSB,"LT"
5581 LPRINT
5582 LPRINT "  VOL. QUE SE DEBE SUCCIONAR EN LA BOQ...";VQSM,"LT"
5590 LPRINT
5600 LPRINT "  ISOCINETISMO.....";ISO,"%"
5610 LPRINT
5620 LPRINT
5630 LPRINT
5640 IF ISO <=110 THEN 5660

```

```

5650 GOTO 5670
5660 IF ISO>=90 THEN 5840
5670 LPRINT " -----"
5674 LPRINT " ISOCINETISMO FUERA DE NORMA (90%-110%)"
5680 LPRINT " -----"
5690 VSBS=(1000*ABM*TIEMPO*60*VCHSS)
5700 VCS=(VSBS*FGS*TGA*PCHA)/(TCHA*PGA)
5710 VCSJ=VCS*35.31
5720 RIJ=VCS/VMC
5730 PTACE=PTAC*RIJ
5740 PPE=PP*RIJ
5750 LPRINT
5760 LPRINT " VOL. QUE DEBE MEDIR EL GASOMETRO.....":VCS,"LT"
5770 LPRINT
5780 LPRINT " PESO DE PARTICULAS ESPERADO.....":PPE,"Gr"
5790 LPRINT
5800 LPRINT " PESO TOTAL DE AGUA ESPERADO.....":PTACE,"GR"
5810 LPRINT
5820 LPRINT " ***** REPETIR PRUEBA *****"
5830 GOTO 6000
5840 LPRINT " -----"
5850 LPRINT " ++++++"
5860 LPRINT " ISOCINETISMO DENTRO DE NORMA (90%-110%)"
5870 LPRINT " -----"
5880 LPRINT " ++++++"
6000 REM EMISION Y CONCENTRACION DE PARTICULAS
6010 CP=PP/VTOT
6015 CPMG=CP*1000*1000
6020 EM=GCHM*CPMG
6025 EMKG=EM*60/1000000!
6030 CEQUI=EMKG/CCOMB
6040 LPRINT
6050 LPRINT
6060 LPRINT
6065 LPRINT
6070 LPRINT " CONCENTRACION DE POLVO
6070 LPRINT " CONCENTRACION DE POLVO
6100 LPRINT
6120 LPRINT
6130 LPRINT " CONCENTRACION Y EMISION DE PARTICULAS"
6140 LPRINT
6150 LPRINT
6160 LPRINT " CONCENTRACION DE PARTICULAS.....":CP,"Gr/LT"
6170 LPRINT
6180 LPRINT " CONCENTRACION DE PARTICULAS .....":CPMG,"Mg/M3"
6190 LPRINT
6200 LPRINT " EMISION DE PARTICULAS .....":EM,"Mg/MIN"
6210 LPRINT
6220 LPRINT " EMISION DE PARTICULAS .....":EMKG,"Kg/Hr"
6230 LPRINT
6240 LPRINT " CONCENTRACION EQUIVALENTE .....":CEQUI,"Kg/MT3"

```

## 7000 REM EMISION Y CONCENTRACION DE GASES

7005 FACD= PATM/(R\*TCHA)

7010 DCOD=44\*FACD

7020 DOD=32\*FACD

7030 DCO=28\*FACD

7040 DSOD=64\*FACD

7050 DNOD=46\*FACD

7060 DND=28\*FACD

7100 KCOD=DCOD\*COD\*10000

7110 KCO=DCO\*CO\*10000

7120 KOD=DOD\*OD\*10000

7130 KSOD=DSOD\*SOD\*10000

7140 KNOD=DNOD\*NOD\*10000

7150 KND=DND\*NDD\*10000

7200 EMCOD=KCOD\*GCHH/1000000!

7210 EMCO=KCO\*GCHH/1000000!

7220 EMOD=KOD\*GCHH/1000000!

7230 EMSOD=KSOD\*GCHH/1000000!

7240 EMNOD=KNOD\*GCHH/1000000!

7250 EMND=KND\*GCHH/1000000!

7300 CECOD=EMCOD/CCOMB

7310 CECO=EMCO/CCOMB

7320 CEOD=EMOD/CCOMB

7330 CESOD=EMSOD/CCOMB

7340 CENOD=EMNOD/CCOMB

7450 CEND=EMND/CCOMB

7525 LPRINT " EMISION Y CONCENTRACION DE GASES"

7530 LPRINT

7540 LPRINT

7550 LPRINT "	GAS	DENSIDAD	CONCENTRACION	EMISION	CONC EQUIV."
7560 LPRINT "		mg/ml	mg/M3	Kg/Hr	Kg/M3'

7570 LPRINT

7580 LPRINT " CO2 ",DCOD,KCOD,EMCOD,CECOD

7590 LPRINT " O2 ",DOD,KOD,EMOD,CEOD

7600 LPRINT " CO ",DCO,KCO,EMCO,CECO

7610 LPRINT " SO2 ",DSOD,KSOD,EMSOD,CESOD

7620 LPRINT " NO2 ",DNOD,KNOD,EMNOD,CENOD

7630 LPRINT " N2 ",DND,KND,EMND,CEND

7640 LPRINT

7650 LPRINT

7660 LPRINT

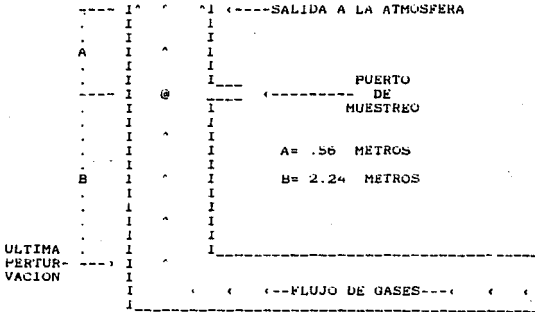
CORRITA PROGRAMA A

IDENTIFICACION DE LA FUENTE EMISORA

RAZON SOCIAL.....CAMERON  
FUENTE EMISORA.....HORNO-T.T.R.  
NUMERO ECONOMICO.....323-0H-0007  
FECHA DE MUESTREO.....22/JUNIO/1991

DIMENSIONES DE CHIMENEA

DIAMETRO DEL DUCTO..... 28  
ALTURA TOTAL DE LA CHIMENEA ..... 4.5  
NUMERO DE DIAMETROS OBTENIDOS..... 16.07143



PUNTOS TRANSVERSALES..... 6

PUNTO	N-S	PUNTO	E-W	PORCENTAJE %
	DISTANCIA METROS		DISTANCIA METROS	
1	.01232	1	.01232	4.4
2	.04116	2	.04116	14.7
3	.0812	3	.0812	29
4	.1974	4	.1974	70.5
5	.2394	5	.2394	85.5
6	.26768	6	.26768	95.6



**CORRIDA PROGRAMA B**

**IDENTIFICACION DE FUENTE EMISORA**

RAZON SOCIAL.....CAMERON  
FUENTE EMISORA.....HORNO-T.T.R  
NUMERO.....323-OH  
FECHA DE MUESTREO.....25/JUNIO/1991  
ALTURA DEL PUERTO.EN MTR.. 4.5

**DATOS DE CAPTACION DE PARTICULAS**

DIAMETRO DE BOQUILLA.....	.375	PULG
FOLIO DEL FILTRO.....	124	
PESO INICIAL DEL FILTRO.....	101	Gr.
PESO FINAL DEL FILTRO.....	101.0021	Gr.
PESO DE PARTICULAS.....	2.098084E-03	Gr.

**DATOS DEL ANALIZADOR DE GASES**

BIOXIDO DE CARBONO.....	3.28	%
OXIGENO.....	14.82	%
MONOXIDO DE CARBONO .....	.00704	%
BIOXIDO DE AZUFRE.....	.00004	%
BIOXIDO DE NITROGENO.....	.042	%

**DATOS DEL CONDENSADOR**

PESO TOT DEL AGUA CAPTADA.....	8.899999	Gr
--------------------------------	----------	----

DATOS DEL GASOMETRO

TEMPERATURA INICIAL DEL GASOMETRO.....	300.78	K
TEMPERATURA FINAL DEL GASOMETRO.....	300.78	K
PRESION DEL GASOMETRO .....	810.6	PASC.
LECTURA INICIAL EN EL GASOMETRO.....	2000	LT3
LECTURA FINAL EN EL GASOMETRO.....	2613.2	LT3
TIEMPO DE MUESTREO .....	60	Min
F. C. GASOMETRO .....	1	

DATOS DE CHIMENEA

F. C. TUBO PITOT.....	.965	
TEMPERATURA DE CHIMENEA.....	827	K
PRESION ESTATICA.....	4.97	PASCALES
PRESION BAROMETRICA.....	78127	PASCALES
DIAMETRO DEL DUCTO.....	.28	MT
No. DE PUNTOS A MUESTREAR.....	12	

DATOS DEL COMBUSTIBLE UTILIZADO

COMBUSTIBLE UTILIZADO.....	GAS NATURAL	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	90.613	M3/Hr

CALCULO DE LA FRACCION DE GAS SECO

TEMPERATURA DEL GASOMETRO .....	300.78	K
PRESION ABSOLUTA EN EL GASOMETRO.....	77316.4	Pa
VOLUMEN MEDIDO EN EL GASOMETRO.....	613.2	Lt
VOLUMEN DE AGUA EN GAS .....	15.93014	Lt
FRACCION DE GAS HUMEDO.....	.0253209	
FRACCION DE GAS SECO.....	.9746791	

... CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA  
Y LA DENCIDAD DE LOS GASES

FRACCION DE CO2.....	.0328	
FRACCION DE CO.....	.0000704	
FRACCION DE O2.....	.1482	
FRACCION DE SOD.....	.0000004	
FRACCION DE NO2.....	.00042	
FRACCION DE N2.....	.8185093	
PESO MOLECULAR H2O .....	.4557762	GR/GRMOL
PESO MOLECULAR DEL AIRE.....	28.97	GR/GRMOL
PESO MOLECULAR DEL CO2.....	1.406657	GR/GRMOL
PESO MOLECULAR DEL O2.....	4.622318	GR/GRMOL
PESO MOLECULAR DEL CO.....	1.921287E-03	GR/GRMOL
PESO MOLECULAR DEL SO2.....	2.495178E-05	GR/GRMOL
PESO MOLECULAR DEL NO2.....	.0188308	GR/GRMOL
PESO MOLECULAR DEL N2.....	22.33795	GR/GRMOL
PESO MOLECULAR DEL GAS.....	28.3877	GR/GRMOL
GRAVEDAD ESPECIFICA.....	.9798999	
DENSIDAD DEL GAS .....	.3227716	KG/M3

**CALCULO DE LA RELACION AIRE COMBUSTIBLE**

AIRE-COMBUSTIBLE REAL.....	55.48134	Kgaire/Kgcomb
AIRE-COMBUSTIBLE TEORICO .....	17.71923	Kgaire/kgcomb
% DE AIRE EN LA COMBUSTION....	313.1137	%
EXCESO DE AIRE EN LA COMBUSTION.	213.1137	%

**CALCULO DEL PERFIL DE VELOCIDADES**

PRESION ABSOLUTA DE CHIMENEA..... 78131.97 Pa

PUNTO	Pd.	Pd <sup>0.5</sup>	VCH
NO.	Pa	Pa <sup>0.5</sup>	M/S
1	19.8672	4.457264	5.66631
2	24.834	4.983372	6.335127
3	29.8008	5.459011	6.939784
4	29.8008	5.459011	6.939784
5	29.8008	5.459011	6.939784
6	24.834	4.983372	6.335127
7	19.8672	4.457264	5.66631
8	29.8008	5.459011	6.939784
9	29.8008	5.459011	6.939784
10	29.8008	5.459011	6.939784
11	29.8008	5.459011	6.939784
12	24.834	4.983372	6.335127

PRESION DINAMICA PROMEDIO.....	26.9035	Pa
PRESION DINAMICA PROMEDIO <sup>0.5</sup> .....	5.173144	PA <sup>0.5</sup>
VELOCIDAD DE CHIMENEA PROMEDIO.....	6.576374	M/SEG
AREA DE CHIMENEA.....	.061544	M2
GASTO DE CHIMENEA.....	.4047364	M3/SEG
GASTO DE CHIMENEA.....	24.28418	M3/MIN
GASTO DE CHIMENEA.....	1457.051	M3/HR

ISOCINETISMO

AREA DE BOQUILLA.....	7.121962E-05	MT2
GASTO A MEDIR EN EL GASOMETRO.....	10.06699	LT/MIN
GASTO MEDIDO EN EL GASOMETRO.....	10.4855	LT/MIN
VOL SUCCIONADO EN LA BOQUILLA.....	1711.748	LT
VOL. QUE SE DEBE SUCCIONAR EN LA BOQ..	1686.121	LT
ISOCINETISMO.....	101.5199	%

-----  
\*\*\*\*\*  
ISOCINETISMO DENTRO DE NORMA (90%-110%)  
\*\*\*\*\*  
-----

CONCENTRACION DE POLVO

CONCENTRACION Y EMISION DE PARTICULAS

CONCENTRACION DE PARTICULAS.....	3.334896E-06	Gr/LT
CONCENTRACION DE PARTICULAS .....	3.334896	Mg/M3
EMISION DE PARTICULAS .....	80.98522	Mg/MIN
EMISION DE PARTICULAS .....	4.859113E-03	Kg/Hr
CONCENTRACION EQUIVALENTE .....	5.362491E-05	Kg/MT3

EMISION Y CONCENTRACION DE GASES

GAS	DENSIDAD mg/ml	CONCENTRACION mg/M3	EMISION Kg/Hr	CONC EQUIV. Kg/M3
CO2	.5002855	16409.36	23.90928	.2638615
O2	.363844	53921.67	78.56663	.8670569
CO	.3183635	22.41279	3.265657E-02	
3.603961E-04 SO2	.7276879	.2910752	4.241113E-04	
4.680469E-06 NO2	.5230257	219.6708	.3200715	3.532292E-03
N2	.3183635	260583.4	379.6833	4.190164

## CONCLUSIONES

El presente informe describe el desarrollo de un sistema de control de temperatura para un horno industrial. El sistema está diseñado para mantener la temperatura del horno en un nivel deseado, independientemente de las perturbaciones externas. El controlador utilizado es un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo), que permite una respuesta rápida y estable a las variaciones de temperatura. El sistema ha sido implementado en un entorno de simulación, donde se han observado resultados satisfactorios. El controlador logra mantener la temperatura del horno en el punto de consigna con un error mínimo y una respuesta transitoria rápida. Además, el sistema es capaz de adaptarse a diferentes condiciones de carga y perturbaciones, lo que lo hace muy versátil para su uso en entornos industriales. En conclusión, el sistema de control de temperatura diseñado cumple con los requisitos establecidos y es capaz de mantener la temperatura del horno en un nivel constante y preciso.

## CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

La contaminación del medio ambiente ha alcanzado niveles increíbles en los últimos años, sin embargo parece que muy pocos se han dado cuenta de la gravedad de este problema, y las consecuencias que se presentan, más aún, el hombre debido a lo anterior ha tenido que cambiar o modificar algunas de sus actividades, como por ejemplo, abstenerse de hacer ejercicio en horas de contingencia ambiental, renunciar un día a su automóvil, retardar la entrada de niños a las escuelas, etc. Lo anterior son síntomas alarmantes de la situación en que se encuentra el medio ambiente.

A lo largo de los últimos años se han intensificado los esfuerzos para avanzar en la definición de criterios y soluciones al problema pero aún sin tener un conjunto de soluciones que por lo menos frenen el deterioro del medio ambiente.

En lo referente a la contaminación del aire provocada por la actividad industrial se reviso la legislación existente de lo cual sobresale lo siguiente: Las normas, procedimientos, y métodos para la evaluación de emisiones contaminantes a la atmósfera estipuladas por la Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) no se encuentran totalmente uniformizadas y acordes con la situación real, ya que la mayoría de estas normas fueron tomadas de la E.P.A. de los Estados Unidos de Norteamérica; y por nuestra forma de ver creemos que no se pueden aplicar mecánicamente los

críterios de otros países al nuestro. Lo importante es definir cuales deben conservarse y cuales desecharse, además de hacer una completa adaptación a la realidad y condiciones técnicas y económicas del país.

Un aspecto importantes el cual se debe mencionar, es la falta de información que existe en las empresas que generan emisiones contaminantes, ya que durante las visitas realizadas a estas nos pudimos percatar que el principal problema para el industrial es dicha falta de información y que a su vez repercute en el control de las emisiones contaminantes. La mayoría de industrias no están preparadas para reportar como y porqué contaminan, ya que muchas de ellas se enfocan solamente a sus aspectos comerciales y de producción, por lo que proponemos la creación obligatoria en la misma empresa de un departamento de ingeniería ambiental o por lo menos una plena capacitación a todo el personal que tenga a su cargo los equipos que generan contaminación a fin de lograr en forma general mecanismos, métodos y alternativas para el control de la contaminación y el cumplimiento con la legislación existente al respecto.

En un panorama general para la reducción de emisiones contaminantes podemos identificar tres niveles de acción para disminuir y controlar el problema de la contaminación: El primero que es el mas caro y difícil de realizar implica un cambio de tecnología que va desde la calidad

del combustible hasta la modernización del equipo que lo quema, desafortunadamente pocas empresas entre ellas el gobierno no tienen la capacidad económica para llevar a cabo dicho cambio de tecnología.

El segundo nivel de acción abarca pequeñas modificaciones tecnológicas dentro del proceso industrial junto con equipos nuevos de control para satisfacer los requerimientos ambientales.

El tercero implica la localización de situaciones de indolencia que inciden sobre la contaminación, pero que son fáciles de resolver mediante actividades de supervisión, como por ejemplo, las fugas o derrames de combustibles, malas relaciones aire-combustible, afinaciones de equipos, falta de mantenimiento, etc.

Pretendemos recordar con la elaboración del presente trabajo que el ingeniero tiene la responsabilidad de procurar en la medida de sus posibilidades la menor emisión posible de contaminantes en los equipos generadores de emisiones a su cargo, ya que cuenta con los conocimientos y criterios necesarios para hacerlo; cumpliendo con ello la parte que le corresponde para el mejoramiento y conservación del medio ambiente.

## BIBLIOGRAFIA

**Ecología-Contaminación-Medio Ambiente**

**Dr. Amos Turk**

**Ed. Interamericana**

**Primera edición**

**Origenes y Control de la Contaminación Ambiental**

**Maurice A. Strobbe**

**Ed. Continental S.A.**

**Primera edición**

**Motores de Combustión Interna**

**Edward F. Qbert**

**Ed. Continental S.A. de C.V. Mexico**

**Segunda edición**

**Plantas de Vapor Arranque Prueba y Operación**

**Charles Donald Swift**

**Ed. Continental S.A.**

**Tercera edición**

**La Contaminación en Mexico**

**Francisco Vizcaino Murray**

**Ed. F.C.E.**

**Primera edición**

**Calderas, Tipos, Características y sus Funciones**

**Carl D. Shield**

**Ed Continental S.A Mexico**

**Octava edición**

Basic Avanzado

Luis Joyanes Aguilar

Ed. Mc Graw Hill

Segunda edición

Basic

Thomas C. Bartee

Ed Harla

Segunda edición

Mecánica de fluidos y maquinas hidraulicas

Claudio Mataix

Ed. Harla

Segunda Edición

Elementos de Mecánica de fluidos

John K. Veronard

Robert L. Street

Tercera Edición

Ingeniería Termodinamica

William C. Reynolds

Ed. Graw-Hill

Termodinamica

Virgil Moring Faires

Ed. UTEHA

Primera edición

Control de Contaminantes en Calderas y Generadores de Vapor

Curso en la UAM-Azcapotzalco

Marzo 1991